



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS RISIKO KERUSAKAN *OFFSHORE PIPELINE* TRANSMISI SUMATERA JAWA

Jalisman Filihan

NRP. 4309 100 080

Pembimbing :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MO141326

RISK ANALYSIS OF DAMAGED OFFSHORE PIPELINE SUMATERA JAWA TRANSMISSION

Jalisman Filihan

NRP. 4309 100 080

Supervisor :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

**ANALISIS RISIKO KERUSAKAN *OFFSHORE PIPELINE*
TRANSMISI SUMATERA JAWA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

JALISMAN FILIHAN

NRP. 4309 100 080

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D.....(Pembimbing 1)

2. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.....(Pembimbing 2)

3. Dirta Marina C, S.T., M.T.....(Penguji 1)

4. Agro Wisudawan, S.T., M.T.....(Penguji 2)

5. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.....(Penguji 3)

SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISIS RISIKO KERUSAKAN *OFFSHORE PIPELINE* TRANSMISI SUMATERA JAWA

Nama Mahasiswa : Jalisman Filihan
NRP : 4309 100 080
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Minyak dan gas bumi adalah penyumbang terbesar dari kebutuhan energi saat ini. *Offshore pipeline* adalah salah satu moda transportasi yang efektif dan efisien dalam melakukan pendistribusian minyak dan gas untuk kebutuhan energi. Industri minyak dan gas bumi selalu dihadapkan dengan berbagai risiko, baik dalam skala besar maupun kecil. Dalam menangani risiko tersebut, maka perlu dilakukan pengelolaan risiko dengan baik agar mengurangi dampak dari risiko tersebut. *Offshore pipeline* transmisi Sumatera Jawa merupakan salah satu pipa yang berfungsi menyalurkan gas dari pulau Sumatera menuju Jawa. Berdasarkan studi lapangan yang dilakukan, risiko yang terjadi merupakan risiko yang terkait pada kondisi pipa. Untuk melakukan pengelolaan terhadap risiko yang terjadi maka penelitian ini menggunakan metode *Probabilistic FMEA*. Dari hasil analisis risiko yang dilakukan maka didapatkan *Risk Priority Number* (RPN) pada lima risiko yaitu *general metal loss* sebesar 0.00076, *mechanical overstress* sebesar 0.00083, *impact* sebesar 0.00070, *over-pressurisation* sebesar 0.00066 dan *fatigue* sebesar 0.00063. Adapun program perbaikan yang dapat dilakukan untuk masing-masing risiko tersebut adalah melakukan pemasangan *grout bag*, *anchor buoy* dan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menggantikan *corrective maintenance* yang selama ini dipakai.

Kata kunci : FMEA, Probabilistic FMEA, Risk, RPN

RISK ANALYSIS OF DAMAGED OFFSHORE PIPELINE SUMATERA JAWA TRANSMISSION

Name : Jalisman Filihan
Reg. Number : 4309 100 080
Department : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Advisors : Prof. Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Oil and gas are the largest contributor of energy needs at this time. Offshore pipeline is one of the modes of effective and efficient transportation in distributing oil and gas for energy needs. The oil and gas industries are always faced with various risks, both in large or small scale. To solve these problems, it needs good risk management in order to reduce the effects of such risks. Sumatra-Java offshore transmission pipeline is one of pipes that serves to distribute gas from Sumatra to Java. Based on field studies performed, the risk that occurs is a risk which related to the pipe's condition. To manage the risks that will occur, so this research uses a Probabilistic FMEA method. From the results of the risk analysis, then Risk Priority Number is obtained in five risks. They are general metal loss amounted to 0.00076, mechanical overstress amounted to 0.00083, impact amounted to 0.00070, over-pressurisation amounted to 0.00066 and fatigue amounted to 0.00063. The improvement program that can be made for each of these risks are doing installation of grout bag, anchor buoy, and using Reliability Centered Maintenance (RCM) to change the corrective maintenance that had been used.

Keywords : FMEA, Probabilistic FMEA, Risk, RPN

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah Subhannahu Wa Ta'ala, berkat rahmat dan karunia-Nya penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Risiko Kerusakan *Offshore Pipeline* Transmisi Sumatera Jawa**” ini dengan baik.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui berapa *probabilistic occurrence, detection, severity*, dan *Risk Priority Number* (RPN) yang diterima oleh pipa bawah laut.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan sehingga jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan selanjutnya. Semoga tugas akhir ini dapat menambah khazanah keilmuan tentang dunia kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Januari 2016

Jalisman Filihan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Manajemen Risiko	5
2.2.2 Proses Manajemen Risiko	5
2.2.3 Identifikasi Risiko	6
2.2.4 Analisa Risiko	6
2.2.5 Metode Analisa Risiko	6
2.2.5.1 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	6
2.2.5.2 <i>Event Tree Analysis</i> (ETA)	8
2.2.6 <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (FMEA)	9
2.2.6.1 <i>Traditional FMEA</i>	10
2.2.6.2 <i>Probabilistic FMEA</i>	12
2.2.7 Evaluasi Risiko	14
2.2.8 Distribusi Triangular	15
2.2.9 Critical Review	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Diagram Alir	18
3.2 Prosedur Penelitian	19
3.3 Metodologi Failure Mode and Effects Analysis	21
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Pengumpulan Data	22
4.1.1 Offshore Pipeline Transmisi Sumatera Jawa	22
4.1.2 Data Pipa	23
4.2 Identifikasi Risiko	24
4.3 Pengolahan Data	31
4.3.1 Analisa Risiko	31
4.3.1.1 Failure Mode and Effects Analysis	33
4.3.1.2 Probabilistic Occurrence	36
4.3.1.3 Probabilistic Detection	45
4.3.1.4 Probabilistic Severity	55
4.3.1.5 Probabilistic Risk Priority Number (RPN)	63
4.4 Program Perbaikan Pada Risiko Kritis	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

1.1 Jalur Pipa Labuhan Maringgai–Muara Bekasi	2
2.1 Jaringan Pipa Bawah Laut	4
2.2 Proses Manajemen Risiko Proyek	5
2.3 Simbol-simbol <i>Dasar Fault Tree Analysis</i>	7
2.4 Contoh ETA Untuk Aliran Pipa Gas	9
3.1 Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir	18
3.2 Flow Chart FMEA	21
4.1 Jalur Pipa Transmisi Sumatera Jawa	22
4.2 Kedalaman Dasar Laut Sepanjang Jalur Pipa Transmisi Sumatera Jawa	23
4.3 Pembagian Zona Jalur Pipa Transmisi Sumatera Jawa	23
4.4 General Metal Loss	25
4.5 Spanning	26
4.6 Local Buckling	26
4.7 Impact Dropped Object	27
4.8 Diagram Peringkat RPN (Risk Priority Number)	64
4.9 Ukuran Groutbag	67

DAFTAR TABEL

2.1 Definisi dan Kategori Ranking Mode Kegagalan Untuk Occurrence	12
2.2 Definisi dan Kategori Ranking Mode Kegagalan Untuk Detection	12
2.3 Definisi dan Kategori Ranking Mode Kegagalan Untuk Severity.....	13
2.4 Contoh Traditional FMEA	14
2.5 Occurrence of Failure Mode Probabilistic FMEA.....	15
2.6 Detection of Failure Mode Probabilistic FMEA.....	15
4.1 Tabel Pengerjaan FMEA.....	29
4.2 Biodata Para Expert TSJ	32
4.3 Risk Priority Number (RPN) Expert 1	33
4.4 Risk Priority Number (RPN) Expert 2.....	34
4.5 Risk Priority Number (RPN) Expert 3.....	34
4.6 Risk Priority Number (RPN) Expert 4.....	35
4.7 Risk Priority Number (RPN) Expert 5.....	35
4.8 Probabilistic Occurrence	36
4.9 Probabilistic Detection.....	45
4.10 Undetected Failure Mode.....	54
4.11 Probabilistic Severity	55
4.12 Probabilistic Risk Priority Number (RPN)	64
4.13 Hasil Akhir Probabilistic Risk Priority Number (RPN)	65
4.14 Peringkat Risk Priority Number (RPN)	66

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Responden Traditional FMEA

LAMPIRAN B Responden Probabilistic FMEA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan energi saat ini sangat penting dalam kehidupan. Penggunaan energi kian meningkat dengan jumlah penduduk yang tinggi dari tahun ke tahun. Minyak dan gas bumi menjadi penyumbang terbesar dari kebutuhan energi saat ini dan Indonesia termasuk dalam negara penghasil gas bumi di dunia. Cadangan gas bumi Indonesia dalam 10 tahun terakhir ini menunjukkan peningkatan. Bentuk cadangan yang terbukti sebesar 112,5 TSCF (Trillions Standard Cubic Feet) dan akan terus bertambah dengan penemuan-penemuan baru hasil eksplorasi di masa mendatang. Cadangan gas bumi Indonesia berada di Natuna Timur, Kalimantan, Sumatera, Papua, Maluku, dan Sulawesi (ESDM, 2010).

Secara topografi, Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai lebih dari 17 ribu pulau. setiap pulau pula memiliki karakteristik berbeda-beda, yang umumnya dari dataran rendah, dataran tinggi, perbukitan dan pegunungan. Mengingat topografi kita yang begitu beragam, maka dipandang perlu moda transportasi yang efektif dan efisien dalam melakukan pendistribusian minyak dan gas untuk kebutuhan energi kepada penduduk. *Offshore Pipeline* Transmisi Sumatera Jawa (TSJ) adalah salah satu pipa yang berfungsi menyalurkan gas dari pulau Sumatera menuju Jawa. Pipa transmisi ini menyalurkan gas dari Labuhan Maringgai ke Muara Bekasi yang memiliki panjang sekitar 161 km.

Kondisi geografis berupa lautan yang menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Sumatera, menyebabkan terjadinya bentangan di sepanjang jalur pipa *offshore*. Bentangan pipa tersebut jika terlalu panjang, akan menyebabkan kegagalan pada struktur pipa tersebut (Febrian. 2013). Jalur pipa ini juga melewati palung pada kilometer *point* (KP) 12. Adapun kedalaman palungnya 13 m dari *seabed* dengan panjang 225 m. Tingkat korosi pada jalur ini pun sangat tinggi, sehingga proteksi katodik secara berkala sangatlah penting. Banyaknya nelayan dan kapal yang melintasi jalur ini memperbesar risiko yang akan diterima oleh struktur pipa tersebut. Oleh karena itu problematika di setiap area yang dilewati sangat tinggi. Fenomena–fenomena itu akan membuat kegagalan pada operasi pipa menjadi besar jika tidak dilakukan perbaikan.



Gambar 1.1 Jalur pipa Labuhan Maringgai – Muara Bekasi
(sumber : *Jaringan Offshore OP3,2011*)

Pada dasarnya telah banyak Tugas Akhir Teknik Kelautan yang telah dikerjakan mengenai pipa bawah laut. Misalnya saja pada Tugas Akhir milik Wahyu (2012) yang menganalisa risiko dan langkah mitigasi pada *offshore pipeline* dengan metode *Risk Based Inspection* (RBI). Adapun Tugas Akhir yang meneliti lokasi sama persis dengan penulis adalah Febrian (2013) dan Khanifudin (2014) yang melakukan analisa pipa tersebut tentang *freespan* dan ULS (*Ultimate Limit State*).

Kurniawan (2013) sendiri melakukan penelitian mengenai analisa risiko yang terjadi di Pertamina Hulu Energi (PHE). Dengan menerapkan metode *Probabilistic Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menjadi langkah awal dalam melakukan *risk assessment* untuk mengetahui seberapa besar risiko yang diterima nantinya. Barends et al (2012) mengatakan bahwa metode *Traditional FMEA* masih memiliki beberapa kekurangan. Adapun kekurangan yang dipaparkan yaitu frekuensi terjadinya *failure mode* yang tidak terdeteksi masih diperkirakan secara kualitatif dan prioritas risiko masih bersifat subjektif sehingga modifikasi FMEA dengan melihat *Probabilistic Occurrence*, *Detection*, dan *Severity* dibutuhkan untuk mencari kekurangan tersebut.

Banyaknya permasalahan yang dihadapi pada pipa tersebut mengakibatkan perlu proses manajemen risiko yang dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penulis memilih judul “Analisis Risiko Kerusakan *Offshore Pipeline* Transmisi Sumatera Jawa”.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan Masalah dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Berapa *Probabilistic Occurrence* (O), *Detection* (D) dan *Severity* (S) yang diterima pada pipa bawah laut Transmisi Sumatera Jawa?
2. Berapa *Probabilistic Risk Priority Number* (RPN) yang diterima oleh pipa bawah laut Transmisi Sumatera Jawa?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi risiko untuk mendapatkan *Probabilistic Occurrence* (O), *Detection* (D) dan *Severity* (S) yang diterima pada pipa bawah laut Transmisi Sumatera Jawa.
2. Analisa risiko untuk mendapatkan *Probabilistic Risk Priority Number* (RPN) yang diterima pada pipa bawah laut Transmisi Sumatera Jawa.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah memberikan kita informasi mengenai risiko kegagalan apa saja yang akan diterima pada pipa bawah laut TSJ. Bagaimana memberikan keterangan yang sistematis, terstruktur dan mempunyai skala tertentu dalam proses perhitungannya. Sehingga dapat diketahui peluang dari masing-masing risiko yang sudah dianalisa.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

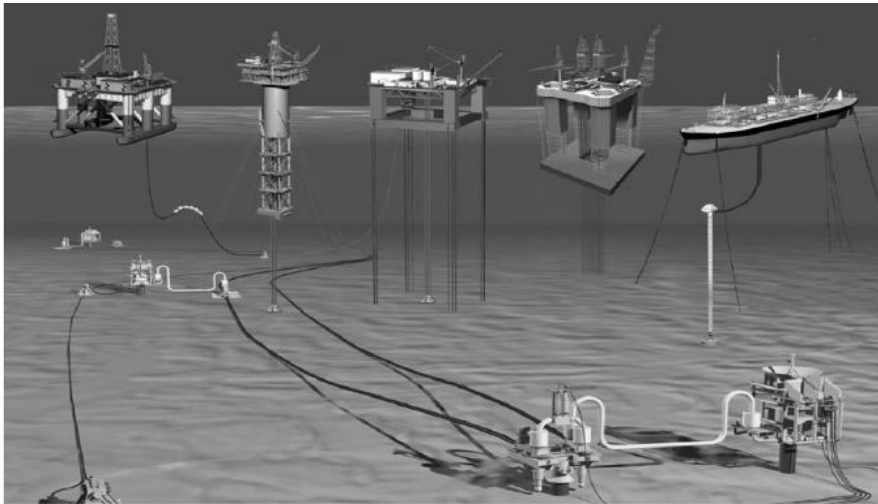
1. Pipa yang dianalisa adalah pipa Transmisi Sumatera Jawa dari Labuhan Maringgai ke Muara Bekasi sepanjang KP 0 – 161.324
2. Diasumsikan perusahaan tidak melakukan tindakan tertentu terhadap risiko yang terjadi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Jaringan pipa didefinisikan sebagai alat untuk mengalirkan fluida dalam hal ini zat cair dan gas dari suatu atau beberapa titik menuju satu atau beberapa titik lainnya. *Offshore pipeline* merupakan jaringan pipa yang beroperasi di dasar laut. Biasanya pipa bawah laut digunakan untuk mendistribusikan fluida antar pulau (Febrian 2013).



Gambar 2.1 Jaringan pipa bawah laut
(Sumber: Soegiono, 2007)

Kurniawan (2013) mengatakan bahwa industri minyak dan gas selalu akan dihadapkan dengan berbagai risiko, baik dalam skala yang besar maupun kecil. Untuk menangani hal tersebut, maka diperlukan pengelolaan risiko yang baik karena risiko merupakan sesuatu yang tidak dapat diperkirakan secara pasti kapan terjadinya. Metode *Probabilistic Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menjadi salah satu jalan dalam menyelesaikan permasalahan risiko yang terjadi. Mempertimbangkan mode kegagalan (*failure mode*) yang ada dan mencari yang tidak terdeteksi (*undetected*) pada peluang kejadian untuk *failure mode*.

Dari hal ini disimpulkan bahwa kegagalan dapat memberi dampak besar, baik pada produsen, konsumen maupun pada lingkungan. Dampak-dampak dari kegagalan antara lain adalah pencemaran lingkungan akibat tumpahnya minyak, terganggunya proses produksi

akibat proses penggantian dan membengkaknya biaya operasional sehingga menjadi kerugian terbesar untuk perusahaan, lingkungan dan juga pastinya pada masyarakat umum.

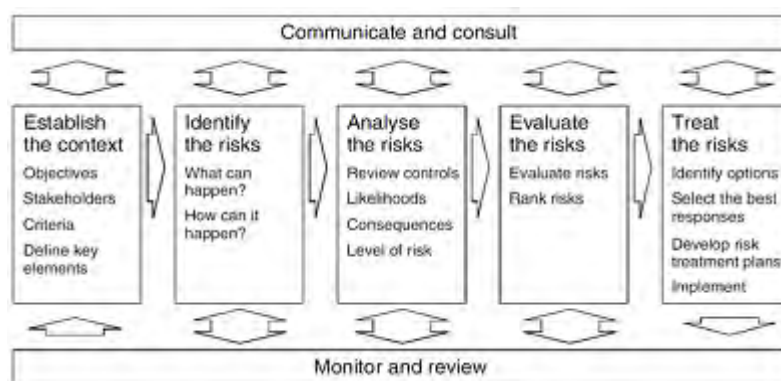
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Manajemen Risiko

Dalam ilmu manajemen proyek, risiko adalah suatu ukuran dari peluang dan konsekuensi atas tidak tercapainya tujuan sebuah proyek. Analisa risiko sendiri adalah proses sistematis untuk mengestimasi tingkatan risiko yang telah diidentifikasi (Kerzner, 2009). Risiko bisa didefinisikan sebagai peluang, signifikan, *near-term risk* yang menyebabkan suatu proyek gagal jika tidak dimitigasi (Dorofee et al, 1996). Berbekal dari kata signifikan inilah yang menjadikan risiko tersebut menjadi sebuah risiko.

2.2.2 Proses Manajemen Risiko

Proses manajemen risiko adalah aplikasi sistematis, prosedur dan praktik untuk tugas dalam mengidentifikasi, menganalisa, mengevaluasi, melakukan perlakuan, memantau dan mengkomunikasikan risiko. Tujuan dari manajemen risiko adalah untuk mengidentifikasi dan mengelola risiko yang signifikan. Manajemen risiko melibatkan beberapa fase kunci, dengan umpan balik melalui proses pemantauan dan peninjauan (Cooper et al, 2005). Berdasarkan standar Australia dan New Zealand (AS/NZS 4360), manajemen risiko terdiri dari lima tahap proses yang bisa dilihat pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Proses Manajemen Risiko Proyek

(Sumber: Cooper et al, 2005)

2.2.3 Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko adalah proses untuk menentukan kejadian apa saja yang bisa mempengaruhi tujuan proyek dan bagaimana kejadian tersebut bisa terjadi. Informasi yang digunakan dalam proses identifikasi risiko bisa meliputi *historical data*, analisa teoritis, data empiris dan analisa, pendapat dari tim proyek dan para ahli, serta perhatian dari pemangku kepentingan (Cooper et al, 2005).

McKim (1992) menyatakan bahwa risiko adalah ketidakpastian dikaitkan dengan hasil apapun. Ketidakpastian bisa dalam bentuk peluang dari peristiwa yang mungkin terjadi dan/atau konsekuensi dari peristiwa yang mungkin terjadi (Chapman,1997).

2.2.4 Analisa Risiko

Risiko merupakan suatu ukuran ketidakpastian untuk seberapa signifikan suatu *hazard* (Marhavilas et al, 2011). Risiko juga didefinisikan oleh Marhavilas et al, (2011) bahwa risiko merupakan suatu ukuran peluang serta dampaknya negatif atau merugikan. Risiko dianggap sebagai peluang bahwa seseorang atau sesuatu dinilai akan berdampak buruk yang disebabkan oleh *hazard*.

Dari beberapa pemaparan mengenai risiko tersebut menunjukkan bahwa risiko merupakan peluang-peluang yang cenderung selalu memberikan dampak negatif atau kerugian bagi perusahaan maupun lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan analisa risiko untuk mengelola risiko yang kemungkinan akan terjadi atau sering muncul. Setelah dilakukan analisa risiko maka dapat dilanjutkan jika ingin melakukan pengelolaan risiko ke tahap berikutnya yang lebih jauh yaitu dengan melakukan evaluasi risiko.

2.2.5 Metode Analisa Risiko

Analisa risiko merupakan suatu cara yang sistematis dan ilmiah untuk memperkirakan atau memprediksi dan mencegah terjadinya kejadian yang tidak diinginkan. Untuk melakukan analisa risiko terdapat beberapa metode yang sering digunakan. Berikut ini adalah beberapa metode yang sering digunakan dalam analisa risiko.

2.2.5.1 Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah suatu teknik deduktif yang berfokus pada *accident event* dan memberikan suatu metode untuk menentukan penyebab-penyebab dari *event* tersebut. *Fault Tree Analysis* juga dapat dideskripsikan sebagai teknik menganalisa secara model visual yaitu bagaimana menghubungkan antara *equipment failures*, *human errors*, dan *external event*

yang dapat menyatu sehingga menyebabkan kecelakaan yang spesifik (Marhavilas et al. 2011). Beberapa simbol yang digunakan FTA, yaitu sebagai berikut :

1. *Top Event and Intermediate Events*

Rectangle digunakan untuk menggambarkan *top event* dan beberapa *intermediate fault events* dalam sebuah *fault tree*. *Top event* adalah *accident* yang sedang dianalisa. *Intermediate events* adalah keadaan sistem atau kejadian yang bagaimanapun juga menyebabkan *accident*.

2. *Basic Events*

Circle digunakan untuk menggambarkan *basic event* dalam sebuah *fault tree*. Ini merupakan tingkatan resolusi terendah pada *fault tree*.

3. *AND gates*

Kejadian yang berada di *rectangle* adalah *output* dari *event/kejadian AND gate* dibawah *rectangle*.

4. *OR gates*

Kejadian yang berada di *rectangle* adalah *output* dari *event/kejadian OR gate* di bawah *rectangle*.



TOP Event



"OR" Gate



"AND" Gate



Basic Event

Gambar 2.3 Simbol-simbol Dasar *Fault Tree Analysis*

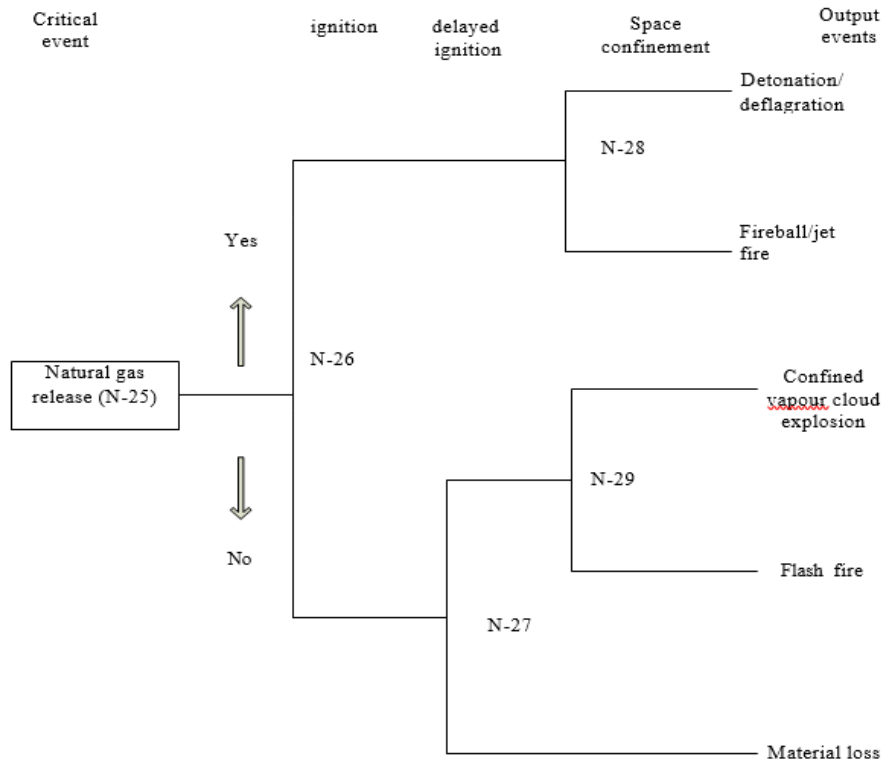
2.2.5.2 Event Tree Analysis (ETA)

Event Tree Analysis (ETA) adalah suatu teknik atau cara yang menggunakan *decision trees* dan pengembangan model visual secara logika untuk hasil yang mungkin muncul pada sebuah kejadian inisiasi/*initiating event* (Marhavilas et al., 2011). ETA adalah representasi grafis dari bentuk logika yang mengidentifikasi dan kuantifikasi hasil-hasil yang mungkin muncul mengikuti *initiating event*.

ETA disebut dengan *event tree* karena tampilan grafis dari urutan kejadian berkembang seperti *tree* sebagai jumlah peningkatan kejadian. Pada metode ini, suatu *initiating event* seperti *malfunction* dari sebuah sistem, proses, atau konstruksi dipertimbangkan sebagai titik awal dan hasil-hasil dari *accident* yang bisa diprediksi. ETA juga merupakan teknik analisis dengan mengikuti sebagai berikut:

- Diskripsi kualitatif
- Estimasi kuantitatif
- Rekomendasi untuk menurunkan risiko

Berdasarkan pemaparan Rosqvist et al., (2013) ETA banyak digunakan untuk *local electricity works, housing area management, dan urban planning*. Pada kasus lain ETA juga digunakan untuk mengidentifikasi risiko pada aliran pipa gas. Berikut ini adalah contoh ETA yang digambarkan oleh Shahriar et al., (2013).



Gambar 2.4 Contoh ETA Untuk Aliran Pipa gas
(Sumber : Shahrir et al. 2013)

2.2.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA adalah sebuah metode sistematis untuk menganalisa dan me-*ranking* risiko yang terkait dengan bermacam-macam produk atau proses *failure modes* untuk yang terjadi dan yang kemungkinan akan terjadi. Memprioritaskan risiko tersebut untuk dilakukan tindakan perbaikan, tindakan pada bagian-bagian yang memiliki risiko tertinggi, mengevaluasi ulang bagian-bagian tersebut dan mengembalikan ke langkah-langkah prioritas dalam siklus berkelanjutan (Dailey, 2004).

FMEA juga dikenal dengan FMECA. Hal tersebut juga dipaparkan oleh Jun dan Huibin (2012) dimana FMECA merupakan metode untuk menganalisis kemungkinan terjadinya *failure* pada masing- masing kejadian. Jun dan Huibin (2012) juga menjelaskan bahwa FMEA memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode *risk assessment* yang lain seperti FTA dan ETA yaitu lebih feasible dan efektif untuk perbaikan operasional serta mampu menganalisis risiko dalam skala yang lebih besar dan kompleks. FMEA terdiri dari beberapa

jenis, antara lain seperti *Traditional FMEA* dan *Probabilistic FMEA*. Berikut ini akan diuraikan mengenai kedua jenis metode FMEA tersebut.

2.2.6.1 *Traditional FMEA*

Traditional FMEA merupakan metode analisis risiko atau jenis FMEA yang umum digunakan. Pada metode ini akan diberikan perhitungan/pembobotan dengan menggunakan skala tertentu terhadap *failure modes* atau risiko yang terjadi dimana perhitungan tersebut biasanya akan dinilai oleh *expert* atau *expert judgment* yang bersangkutan. Perhitungan atau pembobotan yang dilakukan mengacu pada tiga aspek yaitu *occurrence* (O), *detection* (D), dan *severity* (S) sebagaimana yang dipaparkan oleh Barends et al., (2012). *Occurrence* merupakan seberapa sering *failure mode* terjadi, *detection* merupakan terdeteksi suatu risiko dengan kontrol yang digunakan saat ini atau dengan kontrol yang ada *failure mode* dapat terdeteksi, dan *severity* merupakan dampak yang muncul dari risiko. Adapun pembobotan tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk *occurrence* (O)

<i>Definition of occurrence of failure mode</i>	(O)	Keterangan
<i>Negligible</i>	1	0-1x setahun
<i>Very low</i>	2	1-2x setahun
<i>Low</i>	3	2-3x setahun
<i>Occasionally</i>	4	3-4x setahun
<i>Now and then</i>	5	4-5x setahun
<i>Regularly</i>	6	5-6x setahun
<i>Very regularly</i>	7	6-7x setahun
<i>Often</i>	8	7-8x setahun
<i>Very Often</i>	9	8-9x setahun
<i>Extremely often</i>	10	9-10x setahun

Tabel 2.2 Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk *detection* (D)

<i>Definition of detection of failure mode</i>	(D)	Keterangan
<i>Certainly</i>	1	0-1 bulan
<i>Very likely</i>	2	1-2 bulan
<i>Likely</i>	3	2-3 bulan
<i>More than average</i>	4	3-4 bulan
<i>Average</i>	5	4-5 bulan
<i>Low</i>	6	5-6 bulan
<i>Very low</i>	7	6-7 bulan
<i>Unlikely</i>	8	7-8 bulan
<i>Very unlikely</i>	9	8-9 bulan
<i>Excluded</i>	10	9-12 bulan

Tabel 2.3 Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk *severity* (S)

<i>Definition of severity of failure Mode</i>	<i>Consequence of failure mode with this severity</i>	(S)
<i>None</i>	Tidak memberikan dampak	1
<i>Almost none</i>	Memberikan dampak kecil	2
<i>Extremely low</i>	Melakukan tindakan ekstra tetapi tanpa <i>delay</i>	3
<i>Very low</i>	Terjadinya <i>delay</i> dalam waktu yang singkat	4
<i>Low</i>	Terjdainya <i>delay</i> yang cukup lama	5
<i>Moderate</i>	<i>Delay</i> yang lama untuk melakukan perbaikan	6
<i>High</i>	<i>Reject</i> hasil produksi	7
<i>Very high</i>	Kesalahan produk ke konsumen	8
<i>Extremely high</i>	Kualitas produksi sangat menurun (melebihi batas toleransi)	9
<i>Dangerously high</i>	Jumlah produksi sangat rendah (melebihi batas toleransi)	10

(Sumber : Barends et al., 2012)

Setelah dilakukan pembobotan *occurrence* (O), *detection* (D), dan *severity* (S) kemudian dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) menggunakan persamaan berikut :

$$\text{RPN} = \text{Occurrence (O)} \times \text{Detection (D)} \times \text{Severity (S)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk *Risk Priority Number* (RPN) pada *Traditional FMEA*.

Tabel 2.4 Contoh *Traditional FMEA*

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>cutting wheel broken</i>	5	3	8	120
<i>leak on connection</i>	4	3	5	60
<i>leakage on gasket Flange</i>	5	3	8	120
<i>overflow from vent tank 1 P to the deck of vessel</i>	4	3	3	36
<i>vessel was strucked</i>	4	7	8	224

2.2.6.2 *Probabilistic FMEA*

Probabilistic FMEA merupakan pengembangan dari metode *Traditional FMEA* atau *FMEA* yang umum digunakan. Pada *Probabilistic FMEA* untuk penentuan risiko terbesar tidak hanya tergantung pada *Risk Priority Number* (RPN) tetapi juga memperhatikan *probability* dari masing-masing risiko dimana hal tersebut menjadi berbeda dengan *Traditional FMEA* yang lebih ditentukan dengan bobot yang subyektif atau skala-skala tertentu yang digunakan. Sehingga pada *Probabilistic FMEA* perhitungan lebih bersifat kuantitatif dibanding penggunaan *FMEA* pada umumnya.

Pada *Probabilistic FMEA* diperlukan *frequency of occurrence* (P(O)), *detection failure modes* (P(D)) dimana perhitungan tersebut akan digunakan untuk menghitung peluang dari masing-masing risiko yang dianalisis. Berikut ini adalah *categorical scoring* untuk (P(O)) dan (P(D)) yang dipaparkan oleh Barends et al., (2012).

Tabel 2.5 *Occurrence of Failure Mode Probabilistic FMEA*

Definition of occurrence of failure	(O)	P(O)
<i>Negligible</i>	1	0.0000000005
<i>Very low</i>	2	0.000000002
<i>Low</i>	3	0.0000006
<i>Occasionally</i>	4	0.000006
<i>Now and then</i>	5	0.0001
<i>Regularly</i>	6	0.003
<i>Very regularly</i>	7	0.01
<i>Often</i>	8	0.05
<i>Very Often</i>	9	0.3
<i>Extremely often</i>	10	0.6

(Sumber : Barends et al.,2012)

Tabel 2.6 *Detection of Failure Mode Probabilistic FMEA*

Definition of detection of failure mode	(D)	P(D)	(1-P(D))
<i>Certainly</i>	1	1	0
<i>Very likely</i>	2	0.99	0.01
<i>Likely</i>	3	0.96	0.04
<i>More than average</i>	4	0.93	0.07
<i>Average</i>	5	0.9	0.1
<i>Low</i>	6	0.75	0.25
<i>Very low</i>	7	0.5	0.5
<i>Unlikely</i>	8	0.3	0.7
<i>Very unlikely</i>	9	0.1	0.9
<i>Excluded</i>	10	0	1

(Sumber : Barends et al., 2012)

Probabilistic FMEA juga dapat digunakan jika ingin mengetahui atau untuk memperkirakan peluang kejadian untuk sebuah *failure mode* atau risiko yang tidak terdeteksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Barends,2012).

$$P(uf) = P(o) \times (1 - P(D)) \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

$P(uf)$ = peluang kejadian yang tidak terdeteksi

$P(o)$ = peluang kejadian

$P(D)$ = peluang deteksi

Disamping itu *Probabilistic* FMEA juga dapat digunakan dalam memperkirakan tingkat kejadian pertahun untuk *failure mode* atau risiko yang tidak terdeteksi. Perkiraan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Undetected\ failure\ mode = 1 / (P(uf) \times (samples\ analyzed\ per\ year)) \dots \dots (2.3)$$

dengan :

Undetected failure mode = tingkat kejadian pertahun

$P(uf)$ = peluang kejadian yang tidak terdeteksi

Dapat diambil sebuah contoh, misalkan dalam satu tahun terdapat 100 *samples* dari suatu *failure mode* yang dianalisa. *Failure mode* tersebut memiliki $P(uf)$ sebesar 3×10^{-6} Dengan menggunakan persamaan maka didapatkan bahwa *undetected failure mode* tersebut akan terjadi setidaknya sekali dalam 3333 tahun. Sehingga penggunaan *probabilistic* FMEA dapat memberikan gambaran yang lebih bersifat kuantitatif dalam melakukan pengelolaan risiko.

2.2.7 Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko adalah proses membandingkan risiko yang telah di estimasi dengan kriteria risiko yang diberikan untuk menentukan signifikansi dari suatu risiko (Cooper et all, 2005). Proses perhitungan meliputi konsekuensi dari masing-masing risiko, menghitung peluang dari konsekuensi yang akan terjadi, konversi rating konsekuensi dan peluang menjadi prioritas awal risiko kemudian yang terakhir adalah mengembangkan prioritas risiko yang telah disetujui beserta levelnya.

Menurut Cooper et al., tujuan dari perlakuan risiko adalah untuk menentukan apa yang akan dilakukan sebagai respon dari risiko yang sudah diidentifikasi. Perlakuan risiko mengubah analisa awal menjadi aksi nyata untuk mengurangi risiko. Beberapa strategi untuk perlakuan risiko yang sering membantu dalam menentukan respon risiko diantaranya:

1. Pencegahan risiko (*Risk Prevention*)
2. Mitigasi dampak (*Impact Mitigation*)
3. Membagi risiko (*Risk Sharing*)
4. Asuransi (*Insurance*)
5. Menyimpan risiko (*Risk retention*)

2.2.8 Distribusi *Triangular*

Distribusi *triangular* merupakan distribusi yang lebih banyak digunakan oleh para praktisi dalam membuat suatu keputusan karena lebih mudah didalam menentukan atau melakukan estimasi parameter (Stein et al., 2009). Parameter yang digunakan adalah berdasarkan pada minimum, maksimum, *most likely* atau modus. Stein et al., (2009) juga mengemukakan bahwa distribusi triangular juga dapat digunakan terkait dengan kerusakan, seperti kerusakan komponen atau *equipment* yang tidak presisi atau dalam situasi ketiadaan maupun keterbatasan data. Sehingga distribusi triangular lebih sesuai digunakan oleh para praktisi di lapangan.

Distribusi triangular memiliki tiga parameter yaitu *lower limit* atau minimum yang disimbolkan dengan b , *upper limit* atau maksimum yang disimbolkan dengan a , dan *mode* atau modus yang disimbolkan dengan m . Pada penelitian Tugas Akhir ini distribusi triangular digunakan untuk mengestimasi frekuensi kerusakan atau frekuensi dari *failure mode*, waktu untuk terdeteksi, dan dampak yang dilihat dari perkiraan atau estimasi biaya yang dikeluarkan saat risiko terjadi. Berdasarkan parameter tersebut maka *mean* atau rata-rata dari distribusi triangular dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$mean = \frac{a+m+b}{3} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :

a = upper limit

m = modus

b = lower limit

2.2.9 Critical Review

Pada pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini juga dilakukan *review* terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian yang telah dilakukan oleh Barends et al., (2012) merupakan penelitian yang paling berdekatan dengan Tugas Akhir ini. Pada penelitian tersebut Barends et al., (2012) melakukan penelitian terhadap analisis prosedur sebuah *Near Infrared* (NIR). Pada penelitian ini Barends et al., (2012) mencoba untuk menganalisis risiko atau *undetected failure mode* yang terjadi pada masing-masing proses yang terdapat pada NIR. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *Probabilistic* FMEA yang merupakan pengembangan dari metode FMEA/*Traditional* FMEA. Pada penelitian tersebut peneliti berusaha untuk melakukan analisis risiko yang lebih kuantitatif, dimana diketahui sebelumnya bahwa penggunaan FMEA masih cenderung bersifat kualitatif.

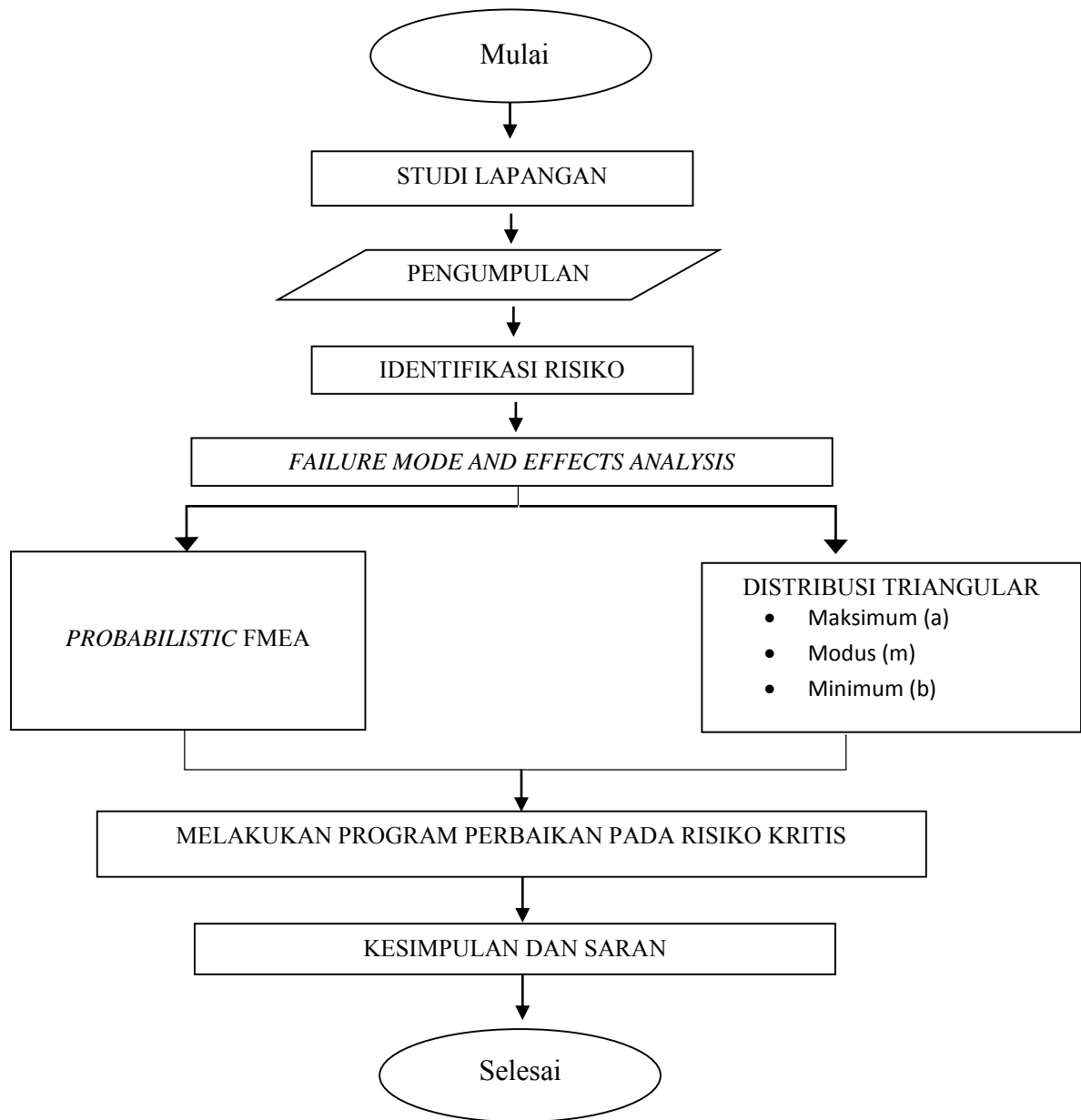
Beberapa penelitian yang lain juga menjadi *review* pada penelitian Tugas Akhir ini dimana pada penelitian tersebut menunjukkan FMEA sudah banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai studi kasus yang terkait dengan *risk assessment*. Beberapa diantaranya yaitu FMEA digunakan untuk memperkirakan tingkat kegagalan dalam mengkombinasikan komponen-komponen secara otomatis (Price dan Taylor, 2001). Pada studi kasus lain (Hoseynabadi et al., 2010) FMEA juga digunakan untuk *desaign improvements* pada *wind turbine* yang akan digunakan pada masa mendatang dimana desain-desain yang dibuat akan diteliti lebih lanjut dengan menggunakan FMEA. Selain itu masih terdapat penelitian lain yang terkait dengan FMEA, dimana FMEA digunakan untuk menganalisis prosedur analitis dan pengendalian kualitas obat (Oldenhof et al., 2011).

Pengembangan metode FMEA menjadi *Probabilistic* FMEA menjadikan analisis risiko yang dilakukan menjadi lebih akurat karena risiko dianalisis dalam bentuk peluang dan kuantitatif. Pada penelitian Tugas Akhir ini juga dilakukan analisis risiko yang terdapat di

perusahaan minyak dan gas dengan menggunakan *Probabilistic* FMEA. Dengan menggunakan *Probabilistic* FMEA diharapkan mampu melakukan *risk assessment* yang lebih baik dan kuantitatif, dimana selama ini pengelolaan risiko masih menggunakan metode yang cenderung kualitatif dan belum dikelola secara keseluruhan. Sehingga pihak perusahaan/manajer merasa terbantu dengan penggunaan *Probabilistic* FMEA tersebut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 *Flow Chart* Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir yang ditunjukkan dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Lapangan

Studi lapangan tahap awal yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Pada tahap ini dilakukan pencarian risiko operasional seperti apa yang sering terjadi di pipa TSJ serta bagaimana cara pengelolaan risiko tersebut. *Probabilistic* FMEA yang merupakan pengembangan dari metode *Traditional* FMEA digunakan sebagai metode perbaikan untuk melakukan *risk assessment* di pipa TSJ.

2. Pengumpulan Data

Tahap ini dimulai dengan mengumpulkan data-data terkait yang dibutuhkan untuk proses identifikasi risiko nantinya. Pembuatan tabel FMEA sebagai langkah awal dalam menentukan data-data yang diperlukan kedepannya.

3. Identifikasi Risiko

Pada tahap ini dilakukan identifikasi risiko yang terjadi pada pipa TSJ, dimana tahap ini dilakukan dengan wawancara atau *interview* secara langsung kepada pihak PGN. Tahap ini juga akan diketahui penyebab terjadinya risiko tersebut. Identifikasi dilakukan dengan melihat proses apa saja yang terdapat di *offshore*, kemudian dari situ akan didapatkan risiko yang muncul. Dari proses yang terjadi di *offshore* maka akan dianalisa pada penelitian Tugas Akhir ini, sehingga akan dilakukan *risk assessment* lebih lanjut terhadap risiko tersebut.

4. *Failure Mode and Effects Analysis*

Pada tahap ini dilakukan *assessment* terhadap risiko yang dipilih sebagai risiko yang dianalisis pada penelitian ini menggunakan metode FMEA. Pada tahap ini dilakukan estimasi terhadap frekuensi terjadi risiko, deteksi risiko, dan *severity* atau dampak yang dimunculkan oleh risiko. Estimasi ini dilakukan oleh dua puluh orang *expert* yang sudah mempunyai pengalaman minimal 5th. Adapun *assessment* yang dilakukan oleh *expert* dilakukan menggunakan kuisioner bentuk tabel dan *brainstorming* dengan dua puluh orang *expert* tersebut.

5. Probabilistic FMEA

Pada tahap ini semua data yang sudah diolah oleh FMEA dilanjutkan untuk mencari *Probabilistic FMEA* agar mendapatkan peluang kejadian pada *failure mode* yang tidak terdeteksi (*undetected*) dan *probabilistic RPN*.

6. Distribusi Triangular

Mencari peluang risiko yang terdiri dari peluang *occurrence*, *detection*, dan *severity* dengan mengetahui terlebih dahulu frekuensi terjadinya risiko dimana frekuensi tersebut didapatkan langsung dari *expert*.

7. Melakukan program perbaikan pada risiko kritis

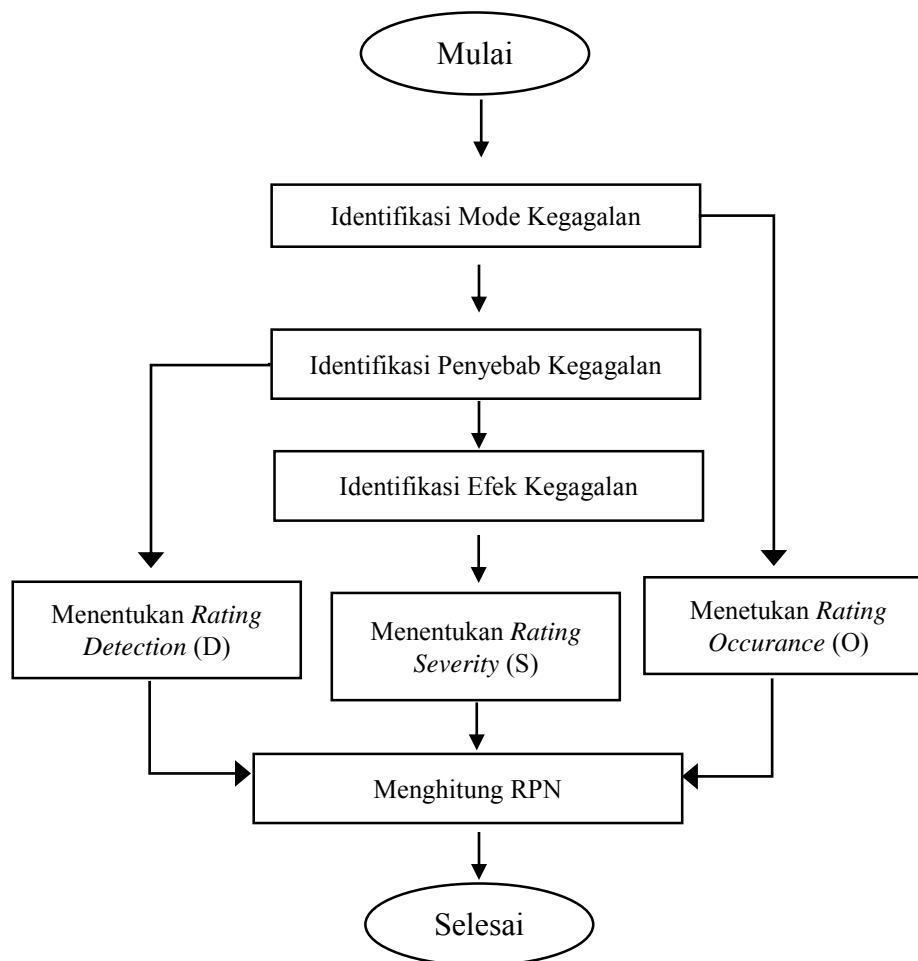
Melakukan program perbaikan yang dirasa perlu untuk kedepannya ditinjau langsung dari hasil perhitungan yang ada. Untuk program perbaikan ini diberlakukan untuk penyebab-penyebab yang memang bisa dikendalikan, kecuali seperti penyebabnya adalah kondisi ekstrim karena itu merupakan di luar kontrol manusia. Program perbaikan yang dilakukan juga sebatas masukkan yang tidak wajib untuk diimplementasikan oleh perusahaan.

8. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap terakhir yang memberikan kesimpulan dan saran dari penelitian Tugas Akhir ini. Pada tahap ini akan menjawab tujuan dari dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini dan juga memberikan saran untuk perbaikan maupun masukkan yang membangun Tugas Akhir ini sehingga memberikan manfaat yang lebih.

\

3.3 Metodologi Failure Mode and Effects Analysis



Gambar 3.2 *Flow Chart* FMEA

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

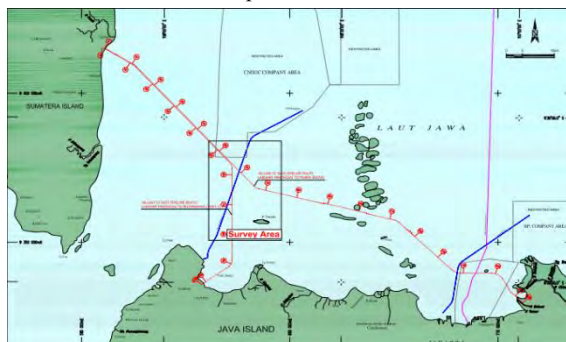
4.1 Pengumpulan Data

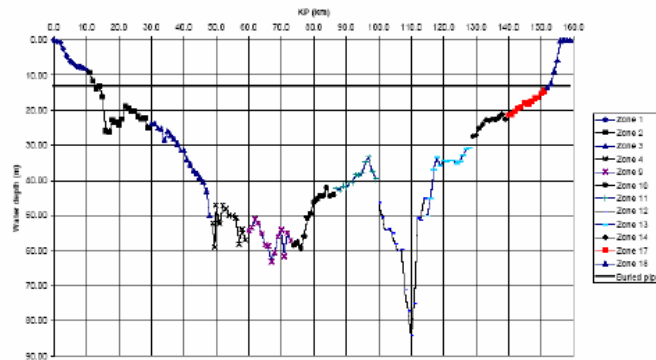
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan melakukan studi lapangan atau observasi langsung pada objek penelitian Tugas Akhir terkait yaitu pipa *offshore* Transmisi Sumatera Jawa. Pengumpulan data dilakukan dengan bertemu langsung pihak-pihak terkait di perusahaan tersebut, yang perlu ditemui dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan risiko yang ada di pipa tersebut yang berdampak pada operasional, pengumpulan data-data umum serta wawancara langsung untuk mendapatkan beberapa data- data tertentu.

4.1.1 *Offshore pipeline* Transmisi Sumatera Jawa

Jaringan pipa dalam Tugas Akhir ini merupakan jaringan pipa transmisi yang menyalurkan gas dari Pulau Sumatera ke Pulau Jawa melewati Selat Sunda. Peta membentang pada bagian dasar laut dengan keadaan batimetri yang tidak rata. Terdapat banyak palung laut sehingga menimbulkan bentangan pipa.

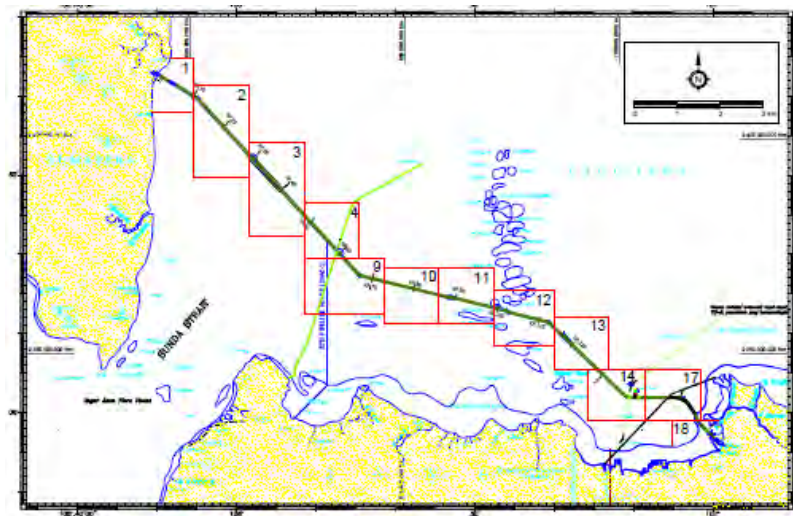
Gambar 4.1 Jalur Pipa Transmisi Sumatera Jawa





Gambar 4.2 Kedalaman Dasar Laut Sepanjang Jalur Pipa Transmisi Sumatera Jawa

Jalur pipa sepanjang 160 km tersebut terbagi dalam 12 zona. Dalam satu zona biasanya memiliki kondisi lingkungan yang sama, misalnya saja mempunyai kecepatan arus yang sama. Pembagian zona dapat dilihat lebih jelas pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Pembagian Zona Jalur Pipa Transmisi Sumatera Jawa

4.1.2 Data Pipa

- | | |
|---|--|
| 1. Length of pipe | = 160 Km |
| 2. Pipe Outside Diameter (OD) | = 0.8128 m |
| 3. Wall Thickness (t_{pipa}) | = 0.015875 m |
| 4. Pipe Density (ρ_{pipa}) | = 7850 Kg/m ³ |
| 5. Modulus Elasticity of Pipe (E_{pipa}) | = 2.07×10^{11} N/m ² |

6. Corrosion Allowance	= 1.5×10^{-3} m
7. Material Spec	= SAWL 450 II-F-D = SAWL 485 II FUD
8. SMYS	= 450 MPa
9. SMTS	= 535 MPa
10. Poisson's Ratio	= 0.3

4.2 Identifikasi Risiko

Setelah mengetahui kondisi pipa dan data yang dimiliki pipa tersebut dilakukan identifikasi risiko terhadap pipa yang dimiliki oleh perusahaan. Sebagai perusahaan penyedia gas, tentu tidak terlepas dari berbagai risiko operasional. Untuk itu perlu dilakukan penanganan risiko yang cukup baik sehingga risiko yang ada dapat diminimalisir dan tidak berdampak begitu besar terhadap proses produksi di perusahaan. Untuk mendapat risiko apa saja yang ada maka perlu dilakukan pemahaman terhadap aktivitas-aktivitas yang berlangsung pada pipa tersebut.

Dari pemahaman terhadap aktivitas-aktivitas yang ada di pipa tersebut maka dilakukan proses wawancara maupun berdiskusi langsung dengan pihak-pihak terkait sehingga didapatkan risiko operasional. Hal ini tentu saja memberikan dampak yang merugikan bagi perusahaan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan terhadap risiko tersebut.

Pada sub bab ini akan ditunjukkan penjabaran mengenai konsep tabel FMEA untuk mendapatkan mode kegagalan (*failure mode*), penyebab kegagalan (*failure cause*), dan efek kegagalan (*failure effect*) pada pipa TSJ. Dari data laporan mode kegagalan dan event log operasional pada pipa TSJ selama ini antara lain :

1. *General metal loss*

Pada *General metal loss* yang diterima pada pipa TSJ adalah *Internal Corrosion/Erosion*. Kegagalan ini yang ditemui selama masa operasional oleh perusahaan. Korosi erosi merupakan kerusakan kumulatif yang ditimbulkan oleh reaksi elektrokimia dan efek mekanis dari gerakan relatif antara elektrolit dan permukaan korosi. Ada beberapa variabel yang mempengaruhi kekorosifan tersebut, diantaranya kandungan CO₂ dan juga kandungan H₂S pada gas alam. Efek yang terjadi dikarenakan mode kegagalan ini adalah kebocoran saluran pipa yang dapat memberikan kerugian sangat besar.



Gambar 4.4 *General metal loss*

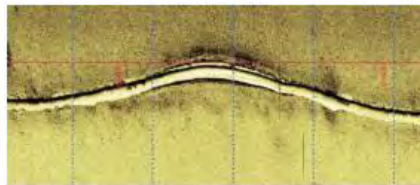
2. *Mechanical overstress*

Mechanical overstress yang dialami pada pipa TSJ antara lain *spanning* dan *upheavel/lateral buckling*. *Spanning* dan *local buckling* sering terjadi pada pipa bawah laut sehingga sangat penting untuk diperhatikan. Penyebab terjadinya *Mechanical overstress* untuk *spanning* dapat terjadi ketika kontak antara *pipeline* dan dasar laut (*seabed*) hilang. Sedangkan untuk *local buckling* terjadi antara lain karena faktor *overtemperature* atau faktor *imperfection* tanah.

Ancaman dan bahaya dari *Mechanical overstress* diantaranya terganggu stabilitas pada jalur pipa yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan pipa mengalami *stress* dan terjadi *bending*.



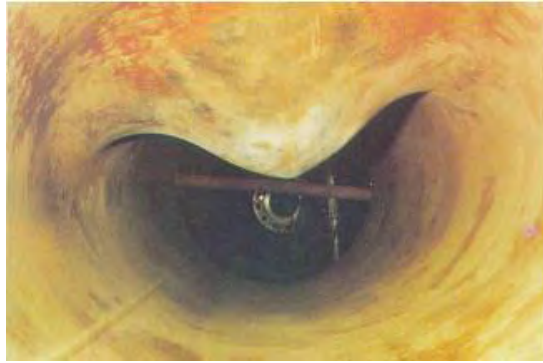
Gambar 4.5 *Spanning*



Gambar 4.6 *Local buckling*

3. *Impact*

Impact yang dimaksudkan adalah adanya sebuah objek yang mengenai pipa bawah laut (*dropped object*). Selama masa operasional pipa TSJ sering mengalami *dropped object* seperti jangkar kapal. penyebab yang terjadi sering kali dikarenakan jangkar kapal maupun benda-benda berat jatuh tepat mengenai pipa yang berada dilaut maupun karena terseret jangkar. Hasil yang ditimbulkan terjadinya deformasi pipa sehingga mempengaruhi kinerja operasional sampai terjadi tingkat kebocoran tinggi.



Gambar 4.7 *Impact Dropped Object*

4. *Over-pressurisation*

Over-pressurisation terbagi atas dua hal, antara lain adalah *blockage* dan *burst*. Mode Kegagalan memiliki tingkat kerusakan tinggi karena selain sangat merugikan perusahaan juga berdampak besar pada lingkungan. Ini dikarenakan pembentukan hidrat pada pipa sehingga terjadinya penyumbatan. Hidrat terjadi ketika molekul-molekul air (H_2O) dengan molekul-molekul hidrokarbon ringan (C_1 s/d C_4) mengikat, juga molekul-molekul H_2S dan CO_2 . Apabila hidrat terjadi maka akan dapat menyebabkan naiknya *pressure drop* pada sistem perpipaan dan dalam kondisi ekstrim hidrat dapat membuntunya aliran gas dalam pipa.

Sedangkan penyebab *burst* pada pipa sendiri apa bila tekanan operasi (*operational operation*) melampaui tekanan ledakan (*burst pressure*) yang sudah ditetapkan. Efek yang akan diterima tentu saja akan terjadi ledakan besar yang berdampak pada lingkungan, dan berbahaya bagi sekitarnya terutama jalur pelayaran serta nelayan.

5. *Fatigue*

Mode Kegagalan yang sering dialami oleh pipa bawah laut. Pada tahap ini pula umur pipa berkurang dan rentan terjadinya risiko. Disebabkan pembebanan berulang (*load cycle*) yang lebih besar dari pada beban yang dibutuhkan untuk material dalam mengalami kegagalan pada single

application. Hasil yang diakibatkan oleh *fatigue* adalah terjadi keretakan (*crack*) dan memperpendek umur pipa itu sendiri.

Pada penelitian Tugas Akhir ini risiko yang difokuskan untuk dianalisa adalah lima mode kegagalan beserta penyebab dan efeknya sendiri yaitu *General metal loss*, *Mechanical overstress*, *Impact*, *Over-pressurisation*, dan *Fatigue*. Berikut adalah tabel pengerjaan FMEA yang sudah diisi sesuai dengan risiko yang sudah dianalisa pada penelitian ini.

Tabel 4.1 Tabel Pengerjaan FMEA

KUESIONER					
BARANG (ITEM)	IDENT. No.	MODE KEGAGALAN (FAILURE MODE)	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	JUMLAH TERJADINYA KEGAGALAN DALAM SETAHUN	PENDETEKSIAN TERJADINYA KEGAGALAN DALAM WAKTU BERAPA BULAN PADA SATU TAHUN
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	General Metal Loss	* Reaksi Elektrokimia		
			* Kandungan CO2 dan H2S		
			* Efek mekanis		
	2	Mechanical Overstress	* Kontak antara pipeline dengan seabed hilang		
			* Overtemperature		
			* Imperfection tanah		
	3	Impact	* Kejatuhan Jangkar Kapal		
			* Terseret Jangkar Kapal		
	4	Over-Pressurisation	* Pembentukan hidrat		
			* Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan		
	5	Fatigue	* load cycle		

KUESIONER													
BARANG (ITEM)	IDENT. No.	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	EFEK KEGAGALAN (FAILURE EFFECT)	DAMPAK YANG AKAN DITERIMA DARI KEGAGALAN YANG TERJADI									
				tidak memberikan dampak	berdampak kecil	tindakan ekstra tanpa keterlambatan	keterlambatan waktu singkat	terlambat waktu cukup lama	terlambat waktu lama dan perlu perbaikan	hasil produksi ditolak	kesalahan produk ke konsumen	kualitas produksi menurun (melebihi batas toleransi)	jumlah produksi sangat rendah (melebihi batas toleransi)
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	* Reaksi Elektrokimia	* Kebocoron pipa										
		* Kandungan CO2 dan H2S											
		* Efek mekanis											
	2	* Kontak antara pipeline dengan seabed hilang	* pipa mengalami stress										
		*Overtemperatur	* pipa mengalami bending										
		* Imperfection tanah											
	3	* Kejatuhan Jangkar Kapal	* deformasi pipa										
		* Terseret Jangkar Kapal	* pipa mengalami kebocoran (robek)										
	4	* Pembentukan hidrat	* blockage (penyumbatan) pada pipa										
		* Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan	* Ledakan pipa * Pencemaran lingkungan * Masyarakat sekitar										
	5	* load cycle	* Crack * Memperpendek umur pipa										

4.3 Pengolahan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan data terkait dengan risiko yang akan dianalisis. Risiko yang menjadi analisis akan dilakukan perhitungan lebih lanjut untuk mengetahui peluang masing-masing risiko tersebut.

4.3.1 Analisa Risiko

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan risiko terhadap masing-masing risiko yang telah dipaparkan sebelumnya. Perhitungan risiko ini dilihat dari *Risk priority number* (RPN) dari masing-masing risiko yang akan di *assessment*. Perhitungan risiko dilakukan oleh dua puluh orang *expert* dibidangnya. Penentuan dua puluh orang ini dijadikan *expert* karena permasalahan yang terkait risiko kerusakan pada *offshore pipeline* ditangani oleh mereka dan *experience* mereka sudah sangat berpengalaman dibidangnya. Adapun bentuk perhitungan yang dilakukan yaitu menggunakan kuisioner yang tertera pada lampiran.

Pada penelitian ini *Risk priority number* (RPN) yang dimunculkan yaitu bentuk *FMEA Traditional* dan *FMEA Probabilistic*. RPN FMEA Traditional tersebut terdiri dari *Occurrence* (O), *Detection* (D), dan *Severity* (S) dimana peluangnya diambil dari *historical data* dan *actual data*. Untuk mendapatkan RPN FMEA Probabilistic adalah dengan mengetahui *Probabilistic Occurrence* (P(O)) yaitu menunjukkan peluang kejadian terjadinya risiko yang dilihat dari berapa kali atau frekuensi risiko tersebut terjadi dengan estimasi satu tahun, *Probabilistic Detection* (P(D)) menunjukkan kapan risiko dapat terdeteksi dengan kontrol yang dilakukan oleh perusahaan, dan *Probabilistic Severity* (P(S)) menunjukkan peluang dampak yang dimunculkan oleh risiko dimana pada penelitian ini dampak dilihat dari segi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan dalam menangani risiko.

Tabel 4.2 Biodata para *expert* TSJ

No	Nama	Jabatan	Masa Kerja
1	Rangga Felani	Pelaksana OP jaringan MBK	5
2	Bambang Ekalaya R	Pelaksana OP jaringan MBK	5
3	Edwin Alfani S	Pelaksana OP jaringan MBK	6
4	Akrom Akhmadi W	Kasubsie OP jaringan MBK	8
5	Nur Harjanto	Kasubag OP jaringan <i>offshore</i> transmisi Sumatera Jawa	15
6	Subur Alfiandi	Pelaksana OP jaringan BJN	6
7	Roy Lambon Gaol	Pelaksana OP jaringan BJN	6
8	Derry Fatrah S	Pelaksana OP jaringan BJN	6
9	Budi Purwasih	Pelaksana OP jaringan BJN	7
10	Syamsu Yusuf	Kasubsie OP jaringan <i>offshore</i> BJN	8
11	Didin Afandi	Engineer Hosbu PGN	6
12	Tauhid Ihsan	Engineer Hosbu PGN	5
13	Eko Yulianto	Engineer Hosbu PGN	6
14	Martanih	Engineer Hosbu PGN	7
15	Syam Gerhananto	Engineer Hosbu PGN	7
16	Yundarman	Engineer Hosbu PGN	6
17	A. Wahyu	Engineer Hosbu PGN	5
18	M. Husin	Engineer Hosbu PGN	5
19	Syahrial Chaniago	Engineer Hosbu PGN	6
20	Ahmad Mukhlis	Engineer Hosbu PGN	6

4.3.1.1 Failure mode and Effects Analysis

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan RPN pada *Traditional FMEA*. *Occurrence, Detection, Severity* sendiri didapatkan langsung dari *expert* terkait risiko yang dianalisis. Adapun jumlah *expert* ini yaitu sebanyak dua puluh orang. Masing-masing *expert* memberikan perhitungan terhadap risiko dan hasil RPN masing-masing akan dijadikan perbandingan setiap *expert* melangkah lebih lanjut pada *Probabilistic FMEA*. Proses mendapatkan RPN sesuai ketentuan FMEA selama ini dan sesuai ketentuan yang berlaku. Berikut ini adalah contoh lima pengolahan data lebih lanjut untuk *Traditional FMEA* dari masing-masing risiko oleh para *expert*.

Tabel 4.3 Risk priority number (RPN) expert 1

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>General metal loss</i>	2	6	6	72
<i>Mechanical overstress</i>	2	6	6	72
<i>Impact</i>	2	7	7	98
<i>Over-pressurisation</i>	2	7	6	84
<i>Fatigue</i>	2	6	6	72

Tabel 4.3 menjelaskan *expert* 1 memberikan perhitungan kepada *failure mode* yang ada melalui FMEA *Traditional* dengan RPN tertinggi adalah *impact*. *Over-pressurisation* menduduki ranking kedua diikuti oleh *fatigue*, *mechanical overstress* dan *general metal loss*.

Tabel 4.4 *Risk priority number (RPN) expert 2*

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>General metal loss</i>	2	6	6	72
<i>Mechanical overstress</i>	4	5	6	120
<i>Impact</i>	4	5	6	120
<i>Over-pressurisation</i>	2	7	6	84
<i>Fatigue</i>	4	5	6	120

Pengisian table 4.4 oleh *expert 2* menjelaskan bahwa *mechanical overstress*, *impact* dan *fatigue* mempunyai tingkat risiko yang sama-sama tinggi. Dilanjutkan dengan *over-pressurisation* dan *general metal loss* yang mempunyai ranking risiko terkecil.

Tabel 4.5 *Risk priority number (RPN) expert 3*

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>General metal loss</i>	3	6	6	108
<i>Mechanical overstress</i>	6	5	6	180
<i>Impact</i>	2	9	7	126
<i>Over-pressurisation</i>	1	9	9	81
<i>Fatigue</i>	2	5	8	80

Pada table 4.5 *expert 3* menjelaskan bahwa *mechanical overstress* memiliki ranking risiko tertinggi dengan RPN sebesar 180. *Impact* pada peringkat kedua dan diikuti oleh *general metal loss*, *over-pressurisation*, dan *fatigue*.

Tabel 4.6 *Risk priority number (RPN) expert 4*

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>General metal loss</i>	2	7	7	98
<i>Mechanical overstress</i>	2	7	7	98
<i>Impact</i>	2	7	7	98
<i>Over-pressurisation</i>	2	7	8	112
<i>Fatigue</i>	2	7	7	98

Tabel 4.6 yang diisi oleh *expert 4* menjadikan *over-pressurisation* yang memiliki RPN tertinggi. *General metal loss*, *mechanical overstress*, *fatigue* dan *impact* mendapatkan angka RPN yang sama sebesar 98.

Tabel 4.7 *Risk priority number (RPN) expert 5*

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>General metal loss</i>	3	6	7	126
<i>Mechanical overstress</i>	2	6	7	84
<i>Impact</i>	3	5	6	90
<i>Over-pressurisation</i>	3	8	7	168
<i>Fatigue</i>	2	6	7	84

4.3.1.2 Probabilistic Occurrence

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan peluang dari *occurrence* ($P(O)$). *Probabilistic Occurrence* sendiri didapatkan dengan mengetahui terlebih dahulu frekuensi terjadinya risiko dimana frekuensi tersebut didapatkan langsung dari *expert* terkait risiko yang dianalisis. Frekuensi yang didapatkan tersebut menunjukkan estimasi jumlah atau *risk event* tersebut terjadi dalam jangka waktu satu tahun. Berikut adalah pengolahan lebih lanjut untuk *occurrence*.

Tabel 4.8 *Probabilistic Occurrence*

<i>Failure mode</i>	<i>Expert</i>	Frekuensi			P(O)
		Maximum	Modus	Minimum	
<i>General metal loss</i>	1	5	3	1	0,007291667
	2	5	3	1	
	3	5	2	1	
	4	5	3	2	
	5	5	2	1	
	6	5	3	2	
	7	5	3	2	
	8	5	3	1	
	9	5	2	1	
	10	5	3	1	
	11	5	3	2	
	12	3	2	1	
	13	3	2	1	
	14	4	3	2	
	15	4	3	2	
	16	3	2	1	
	17	4	2	1	
	18	3	2	1	
	19	4	2	1	
	20	4	3	2	
Rata-rata		4,35	2,55	1,35	2,625

Tabel 4.8 *Probabilistic Occurrence* (lanjutan)

<i>Mechanical overstress</i>	1	6	3	1	0,009409722
	2	6	3	1	
	3	7	4	1	
	4	8	6	3	
	5	6	6	2	
	6	5	3	1	
	7	7	4	3	
	8	6	3	2	
	9	6	5	1	
	10	8	5	2	
	11	4	2	1	
	12	4	3	2	
	13	3	2	1	
	14	4	3	2	
	15	4	3	2	
	16	3	2	1	
	17	3	2	1	
	18	3	2	1	
	19	6	4	1	
	20	4	3	2	
Rata-rata		5,15	3,4	1,55	3,3875
<i>Impact</i>	1	6	4	2	0,007413194
	2	5	3	1	
	3	5	3	1	
	4	3	2	1	
	5	5	3	2	
	6	4	2	1	
	7	5	4	2	
	8	4	2	1	
	9	5	3	2	
	10	3	2	1	
	11	3	2	1	
	12	4	3	2	
	13	3	2	1	
	14	4	3	1	
	15	4	3	2	
	16	3	2	1	

Tabel 4.8 *Probabilistic Occurrence* (lanjutan)

	17	4	2	1	
	18	3	2	1	
	19	5	3	1	
	20	4	3	2	
Rata-rata		4,1	2,65	1,35	2,66875
<i>Failure mode</i>	<i>Expert</i>	Frekuensi			P(O)
		Maximum	Modus	Minimum	
<i>Over-pressurisation</i>	1	4	3	1	0,006475694
	2	3	2	1	
	3	5	3	1	
	4	4	2	1	
	5	3	2	1	
	6	4	2	1	
	7	4	3	2	
	8	3	2	1	
	9	4	2	1	
	10	4	2	1	
	11	3	2	1	
	12	3	2	1	
	13	3	2	1	
	14	5	3	2	
	15	4	3	2	
	16	3	2	1	
	17	3	2	1	
	18	3	2	1	
	19	4	2	1	
	20	4	3	2	
Rata-rata		3.8	2.4	1	2.4
<i>Failure mode</i>	<i>Expert</i>	Frekuensi	P(O)	<i>failure mode</i>	<i>expert</i>
	1	4	3	1	
	2	5	3	1	
	3	5	4	1	
	4	3	2	1	
	5	4	3	1	

Tabel 4.8 *Probabilistic Occurrence* (lanjutan)

<i>Fatigue</i>	6	3	2	1	0,007152778
	7	5	3	1	
	8	4	3	1	
	9	4	2	1	
	10	5	4	1	
	11	3	2	1	
	12	3	2	1	
	13	3	2	1	
	14	5	3	2	
	15	4	3	2	
	16	3	2	1	
	17	3	2	1	
	18	3	2	1	
	19	4	2	1	
	20	4	3	2	
Rata-rata		3,85	2,6	1,15	2,575

Probabilistic occurrence didapatkan dengan menggunakan distribusi *triangular* dimana terdiri dari *maximum*, modus, dan minimum. Frekuensi *maximum* menunjukkan estimasi jumlah maksimal terjadinya risiko, modus menunjukkan jumlah yang paling sering terjadi sehingga untuk rata-rata modus dari kelima *expert* dikalikan dengan bobot (6). Mengingat bahwa modus merupakan waktu yang paling sering terjadi pada risiko yang dianalisis dimana ini juga memberikan perhitungan subjektif terhadap risiko serta mengacu pada *International Smatech FMEA* (1992). Sedangkan minimum menunjukkan frekuensi terkecil atau paling sedikit terjadinya risiko. Adapun persamaan rata-rata untuk distribusi *triangular* yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{maximum} + (\text{modus} \times 6) + \text{minimum}}{8} \dots\dots\dots (4.1)$$

Sebagai contoh untuk mendapatkan *probabilistic occurrence* pada *general metal loss* maka dihitung terlebih dahulu rata-rata dari risiko sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (4.35 + (2.55 \times 6) + 1.35) / 8 \\ &= 2.625\end{aligned}$$

Angka 4.35 menunjukkan rata-rata frekuensi *maximum*, sedangkan 2.55 menunjukkan rata-rata frekuensi modus dimana hal tersebut dikalikan dengan bobot 6, dan 1.35 menunjukkan rata-rata frekuensi minimum. Sehingga dari rata-rata frekuensi *maximum*, modus, dan minimum yang berasal dari kelima *expert* tersebut maka didapatkan rata-rata frekuensi untuk *general metal loss* sebesar 2.625 kali. Angka ini menunjukkan bahwa *general metal loss* pada proses *offshore pipeline* yang terjadi selama satu tahun dengan frekuensi rata-rata sebanyak 2.625 kali.

Setelah didapatkan rata-rata frekuensi terjadinya risiko maka dilanjutkan dengan menentukan *probabilistic occurrence* dari risiko tersebut. Pada penelitian ini untuk satu hari beroperasi (24 jam) adalah terhitung satu kali pemakaian/penggunaan *equipment* terkait risiko yang terjadi. Sehingga akan terhitung sebanyak 360 kali dalam satu tahun pemakaian atau frekuensi pemakaian selama satu tahun. Oleh karena itu *probabilistic occurrence* untuk *general metal loss* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(O) &= \text{Rata-rata} / \text{total pemakaian} \\ &= 2.625 / 360 \text{ kali} \\ &= 0.0072\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang diperoleh, maka risiko pada *general metal loss offshore pipeline* terhitung sebanyak 360 kali beroperasi maka didapatkan 2.625 kali terjadinya risiko tersebut dengan peluang sebesar 0.0072. Untuk peluang risiko yang lain juga berlaku sama dimana peluang didapatkan

dengan melakukan tahap-tahap perhitungan yang ditunjukkan pada contoh perhitungan peluang sebelumnya. Sehingga semakin besar P(O) maka semakin besar pula *probabilistic occurrence* tersebut. Berikut adalah perhitungan untuk mode kegagalan lainnya.

a. Perhitungan *probabilistic occurrence mechanical overstress*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (5.15 + (3.4 \times 6) + 1.55) / 8 \\ &= 3.387\end{aligned}$$

Angka 5.15 menunjukkan rata-rata frekuensi *maximum*, sedangkan 3.4 menunjukkan rata-rata frekuensi modus dimana hal tersebut dikalikan dengan bobot 6, dan 1.55 menunjukkan rata-rata frekuensi minimum. Sehingga dari rata-rata frekuensi *maximum*, modus, dan minimum yang berasal dari kelima *expert* tersebut maka didapatkan rata-rata frekuensi untuk *mechanical overstress* sebesar 3.387 kali. Angka ini menunjukkan bahwa *mechanical overstress* pada proses *offshore pipeline* yang terjadi selama satu tahun dengan frekuensi rata-rata adalah sebanyak 3.387 kali.

Setelah didapatkan rata-rata frekuensi terjadinya risiko maka dilanjutkan dengan menentukan *probabilistic occurrence* dari risiko tersebut. Pada penelitian ini satu hari beroperasi (24 jam) terhitung satu kali pemakaian/penggunaan *equipment* terkait risiko yang terjadi. Sehingga akan terhitung sebanyak 360 kali dalam satu tahun pemakaian atau frekuensi pemakaian selama satu tahun. Oleh karena itu *probabilistic occurrence* untuk *mechanical overstress* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(O) &= \text{Rata-rata} / \text{total pemakaian} \\ &= 3.387 / 360 \text{ kali} \\ &= 0.0094\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang diperoleh maka risiko pada *mechanical overstress* pada *offshore pipeline* terhitung sebanyak 360 kali beroperasi.

Dari hal ini didapatkan 3.387 kali terjadinya risiko tersebut dengan peluang sebesar 0.094

b. Perhitungan *probabilistic occurrence impact*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (4.1 + (2.65 \times 6) + 1.35) / 8 \\ &= 2.668\end{aligned}$$

Angka 4.1 menunjukkan rata-rata frekuensi *maximum*, sedangkan 2.65 menunjukkan rata-rata frekuensi modus dimana hal tersebut dikalikan dengan bobot 6, dan 1.35 menunjukkan rata-rata frekuensi minimum. Sehingga dari rata-rata frekuensi *maximum*, modus, dan minimum yang berasal dari kelima *expert* tersebut didapatkan rata-rata frekuensi untuk *impact* sebesar 2.668 kali. Angka ini menunjukkan bahwa *impact* pada proses *offshore pipeline* yang terjadi selama satu tahun dengan frekuensi rata-rata sebanyak 2.668 kali.

Setelah didapatkan rata-rata frekuensi terjadinya risiko maka dilanjutkan dengan menentukan *probabilistic occurrence* dari risiko tersebut. Pada penelitian ini untuk satu hari beroperasi (24 jam) terhitung satu kali pemakaian/penggunaan *equipment* terkait risiko yang terjadi. Sehingga akan terhitung sebanyak 360 kali dalam satu tahun pemakaian atau frekuensi pemakaian selama satu tahun. Oleh karena itu *probabilistic occurrence* untuk *impact* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(O) &= \text{Rata-rata} / \text{total pemakaian} \\ &= 2.668 / 360 \text{ kali} \\ &= 0.0074\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang diperoleh maka risiko pada *impact offshore pipeline* terhitung sebanyak 360 kali beroperasi maka didapatkan 2.668 kali terjadinya risiko tersebut dengan peluang sebesar 0.0074

c. Perhitungan *probabilistic occurrence Over-pressurisation*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (3.8 + (2.4 \times 6) + 1) / 8 \\ &= 2.4\end{aligned}$$

Angka 3.8 menunjukkan rata-rata frekuensi *maximum*, sedangkan 2.4 menunjukkan rata-rata frekuensi modus dimana hal tersebut dikalikan dengan bobot 6, dan 1 menunjukkan rata-rata frekuensi minimum. Sehingga dari rata-rata frekuensi *maximum*, modus, dan minimum yang berasal dari kelima *expert* tersebut maka didapatkan rata-rata frekuensi untuk *over-pressurisation* sebesar 2.4 kali. Angka ini menunjukkan bahwa *over-pressurisation* pada proses *offshore pipeline* yang terjadi selama satu tahun dengan frekuensi rata-rata sebanyak 2.4 kali.

Setelah didapatkan rata-rata frekuensi terjadinya risiko maka dilanjutkan dengan menentukan *probabilistic occurrence* dari risiko tersebut. Pada penelitian ini untuk satu hari beroperasi (24 jam) terhitung satu kali pemakaian/penggunaan *equipment* terkait risiko yang terjadi. Sehingga akan terhitung sebanyak 360 kali dalam satu tahun pemakaian atau frekuensi pemakaian selama satu tahun. Oleh karena itu *probabilistic occurrence* untuk *over-pressurisation* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(O) &= \text{Rata-rata} / \text{total pemakaian} \\ &= 2.4 / 360 \text{ kali} \\ &= 0.0064\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang didapatkan maka risiko pada *general metal loss* pada *offshore pipeline* terhitung sebanyak 360 kali beroperasi maka didapatkan 2.4 kali terjadinya risiko tersebut dengan peluang sebesar 0.0064

d. Perhitungan *probabilistic occurrence fatigue*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (3.85 + (2.6 \times 6) + 1.15) / 8 \\ &= 2.575\end{aligned}$$

Angka 3.85 menunjukkan rata-rata frekuensi *maximum*, sedangkan 2.6 menunjukkan rata-rata frekuensi modus dimana hal tersebut dikalikan dengan bobot 6, dan 1.15 menunjukkan rata-rata frekuensi minimum. Dari rata-rata frekuensi *maximum*, modus, dan minimum yang berasal dari kelima *expert* tersebut maka didapatkan rata-rata frekuensi untuk *general metal loss* sebesar 2.575 kali. Angka ini menunjukkan bahwa *fatigue* pada proses *offshore pipeline* yang terjadi selama satu tahun dengan frekuensi rata-rata sebanyak 2.575 kali.

Setelah didapatkan rata-rata frekuensi terjadinya risiko maka dilanjutkan dengan menentukan *probabilistic occurrence* dari risiko tersebut. Pada penelitian ini untuk satu hari beroperasi (24 jam) terhitung satu kali pemakaian/penggunaan *equipment* terkait risiko yang terjadi. Sehingga akan terhitung sebanyak 360 kali dalam satu tahun pemakaian atau frekuensi pemakaian selama satu tahun. Oleh karena itu *probabilistic occurrence* untuk *fatigue* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(O) &= \text{Rata-rata} / \text{total pemakaian} \\ &= 2.575 / 360 \text{ kali} \\ &= 0.0071\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang diperoleh maka risiko pada *fatigue offshore pipeline* terhitung sebanyak 360 kali beroperasi didapatkan 2.575 kali terjadinya risiko tersebut dengan peluang sebesar 0.0071

4.3.1.3 Probabilistic Detection

Pada tahap ini dimulai dengan melakukan perhitungan untuk mendapatkan *probabilistic detection* ($P(D)$) dari masing-masing risiko yang dianalisis. Untuk penentuan peluang dilakukan terlebih dahulu estimasi berdasarkan maximum, modus, dan minimum terhadap waktu, dimana estimasi perhitungan tersebut dilakukan oleh beberapa *expert*. Estimasi waktu yang diberikan menunjukkan seberapa efektif risiko dapat terdeteksi dengan tindakan atau kontrol yang dilakukan oleh perusahaan pada saat itu.

Table 4.9 Probabilistic Detection

<i>failure mode</i>	<i>expert</i>	waktu (hari)			P(D)
		maximum	modus	minimum	
<i>General metal loss</i>	1	360	140	42	0,456944444
	2	360	170	47	
	3	360	170	47	
	4	1	1	1	
	5	360	150	45	
	6	360	160	50	
	7	360	155	40	
	8	360	140	50	
	9	360	150	47	
	10	360	170	45	
	11	360	150	50	
	12	360	150	50	
	13	360	150	70	
	14	360	150	50	
	15	360	160	60	
	16	360	175	50	
	17	360	200	50	
	18	360	160	40	
	19	360	170	40	
	20	360	180	60	
rata-rata		342,05	152,55	46,7	164,5

Table 4.9 *Probabilistic Detection* (lanjutan)

<i>Mechanical overstress</i>	1	360	150	46	0,502837302
	2	360	180	48	
	3	360	180	48	
	4	360	360	1	
	5	360	170	49	
	6	360	150	50	
	7	360	180	48	
	8	360	150	48	
	9	360	150	49	
	10	360	150	46	
	11	360	140	60	
	12	360	150	50	
	13	360	150	70	
	14	360	160	60	
	15	360	150	75	
	16	360	160	60	
	17	360	200	40	
	18	360	170	50	
	19	360	170	45	
	20	360	160	50	
rata-rata		360	171,5	49,65	181,0214286
<i>Impact</i>	1	360	150	45	0,469940476
	2	360	180	49	
	3	360	180	49	
	4	360	30	14	
	5	360	170	40	
	6	360	150	40	
	7	360	170	40	
	8	360	170	40	
	9	360	180	49	
	10	360	170	49	
	11	360	140	45	
	12	360	175	40	
	13	360	150	70	
	14	360	150	40	

Table 4.9 *Probabilistic Detection* (lanjutan)

	15	360	150	65	
	16	360	150	70	
	17	360	150	40	
	18	360	180	45	
	19	360	150	40	
	20	360	170	40	
rata-rata		360	155,75	45,5	169,1785714
<i>Over- pressurisation</i>	1	360	180	59	0,472956349
	2	360	172	57	
	3	360	175	57	
	4	1	1	1	
	5	360	175	58	
	6	360	170	50	
	7	360	172	50	
	8	360	175	58	
	9	360	175	58	
	10	360	175	58	
	11	360	170	65	
	12	360	160	30	
	13	360	150	70	
	14	360	140	55	
	15	360	140	45	
	16	360	140	50	
	17	360	170	55	
	18	360	200	60	
	19	360	175	55	
	20	360	175	55	
rata-rata		342,05	159,5	52,3	170,2642857
	1	360	170	77	
	2	360	171	77	
	3	360	171	77	
	4	360	360	180	
	5	360	175	75	
	6	360	170	60	
	7	360	175	77	

Table 4.9 *Probabilistic Detection* (lanjutan)

Fatigue	8	360	175	77	0,509206349
	9	360	171	77	
	10	360	170	77	
	11	360	150	70	
	12	360	130	50	
	13	360	150	70	
	14	360	170	60	
	15	360	130	50	
	16	360	130	40	
	17	360	160	70	
	18	360	140	70	
	19	360	170	70	
	20	360	160	70	
rata-rata		360	169,9	73,7	183,3142857

Untuk menentukan *probabilistic detection* juga digunakan maximum, modus, dan minimum yang didapatkan melalui beberapa *expert*. Maximum menunjukkan waktu paling lama untuk terdeteksinya risiko, modus menunjukkan waktu yang paling sering untuk terdeteksinya risiko, dan minimum menunjukkan waktu tercepat untuk terdeteksi risiko.

Dari ketiga hal tersebut maka digunakan rata-rata dari ketiganya yang dijadikan sebagai waktu deteksi dari risiko tersebut. Untuk mendapatkan rata-rata deteksi dari sebuah risiko digunakan persamaan distribusi *triangular*. Pada *probabilistic detection* rata-rata modus dikalikan bobot 5 mengingat bahwa modus merupakan waktu yang paling sering untuk risiko yang dianalisis dapat terdeteksi, mengacu pada *International Smatech FMEA* (1992). Sebagai contoh untuk mendapatkan *probabilistic detection* pada *general metal loss* maka dihitung terlebih dahulu rata-rata dari risiko sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (342.05 + (152.55 \times 5) + 46.7) / 7 \\ &= 165 \text{ hari}\end{aligned}$$

Dari perhitungan rata-rata deteksi *general metal loss* yaitu 165 hari, dimana angka ini menunjukkan bahwa *general metal loss* pada *offshore pipeline* akan dapat segera terdeteksi pada hitungan 165 hari. Pada deteksi, semakin kecil hari untuk terdeteksinya risiko maka akan semakin lebih baik bagi perusahaan dalam mengantisipasi risiko tersebut dan begitu pula sebaliknya, jika hari untuk mendeteksi semakin besar maka akan lebih berisiko bagi keberlangsungan perusahaan.

Hal ini dikarenakan risiko lebih sulit untuk diantisipasi dengan memiliki waktu yang lebih panjang. Semisal deteksi antara *general metal loss* dengan *mechanical overstress* dengan masing-masing deteksi yaitu 165 dan 181 hari. Ini menunjukkan bahwa risiko nomor 1 lebih kecil dibandingkan dengan nomor 2 bila dilihat dari deteksi masing-masing risiko tersebut. Pihak perusahaan akan lebih mudah mengantisipasi terjadinya nomor 1 dibandingkan dengan nomor 2.

Dari perhitungan hari deteksi masing-masing risiko akan dilihat juga *probabilistic* risiko tersebut. Untuk deteksi juga dilihat seberapa besar peluang risiko tersebut terdeteksi. Misal *general metal loss* yang memiliki waktu untuk terdeteksi sebesar 165 hari memiliki peluang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(D) &= \text{Rata-rata} / 360 \text{ hari} \\ &= 165 / 360 \text{ hari} \\ &= 0.4569\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan tersebut, menunjukkan bahwa dengan kontrol atau cara yang dilakukan oleh perusahaan untuk menangani risiko yang dapat mendeteksi risiko *general metal loss* dengan peluang sebesar 0.4569 yang terdeteksi dalam waktu sekitar 165 hari. Sedangkan waktu 360 hari menunjukkan aktivitas atau proses produksi yang

dilakukan selama 360 hari (satu tahun). Selama ini kontrol yang dilakukan perusahaan terhadap risiko masih cenderung *corrective*, sehingga risiko yang terjadi menjadi lebih sulit untuk diantisipasi. Berikut adalah perhitungan untuk mode kegagalan lainnya.

a. perhitungan *probabilistic detection mechanical overstress*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (360 + (171.5 \times 5) + 49.65) / 7 \\ &= 181 \text{ hari}\end{aligned}$$

Dari perhitungan rata-rata deteksi *mechanical overstress* yaitu 206 hari, dimana angka ini menunjukkan bahwa *mechanical overstress* pada *offshore pipeline* akan dapat segera terdeteksi pada hitungan 181 hari. Pada deteksi, semakin kecil hari untuk terdeteksinya risiko maka akan semakin lebih baik bagi perusahaan dalam mengantisipasi risiko tersebut dan begitu pula sebaliknya, jika hari untuk mendeteksi semakin besar maka akan lebih berisiko bagi keberlangsungan perusahaan. Hal ini dikarenakan risiko lebih sulit untuk diantisipasi dengan memiliki waktu yang lebih panjang.

Dari perhitungan hari deteksi masing-masing risiko akan dilihat juga *probabilistic* risiko tersebut. Untuk deteksi juga dilihat seberapa besar peluang risiko tersebut terdeteksi. *Mechanical overstress* yang memiliki waktu untuk terdeteksi sebesar 206 hari memiliki peluang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(D) &= \text{Rata-rata} / 360 \text{ hari} \\ &= 181 / 360 \text{ hari} \\ &= 0.5028\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan tersebut, menunjukkan bahwa dengan kontrol atau cara yang dilakukan oleh perusahaan untuk menangani risiko yang dapat mendeteksi risiko *mechanical overstress* dengan peluang sebesar 0.5028 yang terdeteksi dalam waktu sekitar 181

hari. Sedangkan waktu 360 hari menunjukkan aktivitas atau proses produksi yang dilakukan selama 360 hari (satu tahun).

b. Perhitungan *probabilistic detection impact*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (360 + (155.75 \times 5) + 45.5) / 7 \\ &= 169 \text{ hari}\end{aligned}$$

Dari perhitungan rata-rata deteksi *impact* yaitu 169 hari, dimana angka ini menunjukkan bahwa *impact* pada *offshore pipeline* akan dapat segera terdeteksi pada hitungan 169 hari. Pada deteksi, semakin kecil hari untuk terdeteksinya risiko maka akan semakin lebih baik bagi perusahaan dalam mengantisipasi risiko tersebut dan begitu pula sebaliknya, jika hari untuk mendeteksi semakin besar maka akan lebih berisiko bagi keberlangsungan perusahaan. Hal ini dikarenakan risiko lebih sulit untuk diantisipasi dengan memiliki waktu yang lebih panjang.

Dari perhitungan hari deteksi masing-masing risiko akan dilihat juga *probabilistic* risiko tersebut. Untuk deteksi juga dilihat seberapa besar peluang risiko tersebut terdeteksi. *impact* yang memiliki waktu untuk terdeteksi sebesar 159 hari memiliki peluang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(D) &= \text{Rata-rata} / 360 \text{ hari} \\ &= 169 / 360 \text{ hari} \\ &= 0.4729\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan tersebut, menunjukkan bahwa dengan kontrol atau cara yang dilakukan oleh perusahaan untuk menangani risiko yang dapat mendeteksi risiko *impact* dengan peluang sebesar 0.4729 yang terdeteksi dalam waktu sekitar 169 hari. Sedangkan waktu 360 hari menunjukkan aktivitas atau proses produksi yang dilakukan selama 360 hari (satu tahun).

c. Perhitungan *probabilistic detection over-pressurisation*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (342.05 + (159.5 \times 5) + 52.3) / 7 \\ &= 170 \text{ hari}\end{aligned}$$

Dari perhitungan rata-rata deteksi *over-pressurisation* yaitu 170 hari, dimana angka ini menunjukkan bahwa *over-pressurisation* pada *offshore pipeline* akan dapat segera terdeteksi pada hitungan 170 hari. Pada deteksi, semakin kecil hari untuk terdeteksinya risiko maka akan semakin lebih baik bagi perusahaan dalam mengantisipasi risiko tersebut dan begitu pula sebaliknya, jika hari untuk mendeteksi semakin besar maka akan lebih berisiko bagi keberlangsungan perusahaan. Hal ini dikarenakan risiko lebih sulit untuk diantisipasi dengan memiliki waktu yang lebih panjang.

Dari perhitungan hari deteksi masing-masing risiko akan dilihat juga *probabilistic* risiko tersebut. Untuk deteksi juga dilihat seberapa besar peluang risiko tersebut terdeteksi. *over-pressurisation* yang memiliki waktu untuk terdeteksi sebesar 148.2285714 hari memiliki peluang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(D) &= \text{Rata-rata} / 360 \text{ hari} \\ &= 170 / 360 \text{ hari} \\ &= 0.4729\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan tersebut, menunjukkan bahwa dengan kontrol atau cara yang dilakukan oleh perusahaan untuk menangani risiko yang dapat mendeteksi risiko *over-pressurisation* dengan peluang sebesar 0.4729 yang terdeteksi dalam waktu sekitar 170 hari. Sedangkan waktu 360 hari menunjukkan aktivitas atau proses produksi yang dilakukan selama 360 hari (satu tahun).

d. Perhitungan *probabilistic detection fatigue*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (360 + (169.9 \times 5) + 73.7) / 7 \\ &= 183 \text{ hari}\end{aligned}$$

Dari perhitungan rata-rata deteksi *fatigue* yaitu 183 hari, dimana angka ini menunjukkan bahwa *fatigue* pada *offshore pipeline* akan dapat segera terdeteksi pada hitungan 183 hari. Pada deteksi, semakin kecil hari untuk terdeteksinya risiko maka akan semakin lebih baik bagi perusahaan dalam mengantisipasi risiko tersebut dan begitu pula sebaliknya, jika hari untuk mendeteksi semakin besar maka akan lebih berisiko bagi keberlangsungan perusahaan. Hal ini dikarenakan risiko lebih sulit untuk diantisipasi dengan memiliki waktu yang lebih panjang.

Dari perhitungan hari deteksi masing-masing risiko akan dilihat juga *probabilistic* risiko tersebut. Untuk deteksi juga dilihat seberapa besar peluang risiko tersebut terdeteksi. *Fatigue* yang memiliki waktu untuk terdeteksi sebesar 183 hari memiliki peluang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(D) &= \text{Rata-rata} / 360 \text{ hari} \\ &= 183 / 360 \text{ hari} \\ &= 0.5092\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan tersebut, menunjukkan bahwa dengan kontrol atau cara yang dilakukan oleh perusahaan untuk menangani risiko yang dapat mendeteksi risiko *fatigue* dengan peluang sebesar 0.5092 yang terdeteksi dalam waktu sekitar 183 hari. Sedangkan waktu 360 hari menunjukkan aktivitas atau proses produksi yang dilakukan selama 360 hari (satu tahun).

Peluang kejadian juga dapat dilihat jika ingin mengetahui suatu risiko yang tidak terdeteksi (*undetected failure*). Perlu diingat bahwa pada penelitian ini peluang kejadian yang digunakan untuk perhitungan risiko

adalah peluang kejadian yang terdeteksi. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk mengetahui peluang kejadian yang tidak terdeteksi dari suatu *failure mode*.

$$P(uf) = P(O) \times (1-P(D)) \dots \dots \dots (4.2)$$

Dengan :

P(uf) : peluang kejadian yang tidak terdeteksi

P(O) : peluang kejadian

P(D) : peluang deteksi

Berdasarkan persamaan diatas maka didapatkan peluang kejadian untuk risiko yang tidak terdeteksi sebagai berikut.

Tabel 4.10 *Undetected failure mode*

<i>failure mode</i>	P(O)	P(D)	1-(P(D))	P(uf)
	{1}	{2}	{1-2}	1x {1-2}
<i>General metal loss</i>	0,0072	0,4569	0,543	0,0039
<i>Mechanical overstress</i>	0,0094	0,5028	0,4971	0,0046
<i>Impact</i>	0,0074	0,4699	0,53	0,0039
<i>Over-pressurisation</i>	0,0064	0,4729	0,527	0,0034
<i>Fatigue</i>	0,0071	0,5092	0,4907	0,0035

Semisal dilihat untuk *general metal loss* dengan peluang kejadian untuk risiko yang tidak terdeteksi (*undetected failure*) adalah 0.0039 dimana peluang ini menunjukkan bahwa *general metal loss* masih mempunyai kemungkinan untuk terjadinya risiko pada saat tidak terdeteksi yaitu 0.0039. Sehingga dengan peluang kejadian (P(O) sebesar 0.0039 pada saat terdeteksi dalam waktu 165 hari memungkinkan risiko pada *general metal loss* untuk dapat terjadi diluar deteksi waktu 165 hari atau waktu rata-rata terdeteksi risiko tersebut. Peluang kejadian untuk risiko yang tidak

terdeteksi ini juga berlaku sama untuk risiko lain yang dianalisis pada penelitian ini.

4.3.1.4 Probabilistic Severity (P(S))

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *probabilistic severity* (P(S)) dari masing-masing risiko yang akan dianalisis. Untuk penentuan *probabilistic severity* sendiri dilakukan terlebih dahulu estimasi berdasarkan maximum, modus, dan minimum yang dilihat dari biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi oleh perusahaan. Estimasi risiko terhadap biaya tersebut didapatkan dari beberapa orang *expert* yang terkait di *offshore pipeline* transmisi sumatera jawa. Berikut ini adalah pengolahan lebih lanjut untuk *severity* dari masing-masing risiko yang dianalisis.

Table 4.11 Probabilistic Severity

<i>failure mode</i>	<i>Expert</i>	Frekuensi			P(S)
		maximum	modus	minimum	
<i>General metal loss</i>	1	1000000	600000	400000	0,228748377
	2	800000	500000	100000	
	3	900000	450000	300000	
	4	500000	300000	100000	
	5	900000	500000	200000	
	6	600000	350000	200000	
	7	500000	450000	200000	
	8	900000	350000	100000	
	9	500000	450000	100000	
	10	600000	350000	200000	
	11	800000	500000	300000	
	12	750000	500000	350000	
	13	600000	400000	200000	
	14	750000	400000	200000	
	15	700000	600000	400000	
	16	800000	600000	300000	
	17	700000	500000	200000	

Table 4.11 *Probabilistic Severity* (lanjutan)

	18	650000	400000	200000	
	19	700000	500000	300000	
	20	600000	300000	200000	
rata-rata		712500	450000	227500	458000
<i>Mechanical overstress</i>	1	700000	350000	150000	0,176555789
	2	500000	250000	100000	
	3	500000	250000	125000	
	4	500000	300000	100000	
	5	700000	250000	125000	
	6	600000	300000	150000	
	7	500000	300000	125000	
	8	500000	250000	125000	
	9	700000	350000	100000	
	10	500000	300000	150000	
	11	600000	450000	300000	
	12	600000	400000	300000	
	13	700000	500000	200000	
	14	600000	400000	300000	
	15	600000	500000	350000	
	16	600000	400000	200000	
	17	500000	300000	125000	
	18	500000	400000	200000	
	19	500000	250000	125000	
	20	500000	300000	200000	
rata-rata		570000	340000	177500	353500
<i>Impact</i>	1	1000000	500000	240000	0,203176506
	2	900000	450000	250000	
	3	900000	450000	225000	
	4	500000	300000	100000	
	5	700000	450000	250000	
	6	500000	250000	100000	
	7	700000	450000	250000	
	8	900000	450000	225000	
	9	700000	500000	250000	

Table 4.11 *Probabilistic Severity* (lanjutan)

	10	700000	450000	240000	
	11	600000	400000	200000	
	12	600000	350000	200000	
	13	500000	400000	150000	
	14	550000	350000	200000	
	15	500000	400000	200000	
	16	600000	500000	300000	
	17	600000	300000	100000	
	18	600000	300000	200000	
	19	600000	300000	100000	
	20	500000	300000	200000	
rata-rata		657500	392500	199000	406800
<i>Over- pressurisation</i>	1	1300000	650000	300000	0,215887524
	2	1000000	500000	225000	
	3	1000000	500000	250000	
	4	500000	300000	100000	
	5	1000000	500000	250000	
	6	500000	350000	200000	
	7	500000	350000	200000	
	8	500000	250000	100000	
	9	500000	250000	100000	
	10	1000000	500000	200000	
	11	700000	600000	400000	
	12	550000	400000	200000	
	13	600000	300000	150000	
	14	700000	500000	200000	
	15	500000	300000	200000	
	16	700000	500000	300000	
	17	700000	500000	250000	
	18	650000	300000	100000	
	19	700000	500000	250000	
	20	400000	300000	200000	
rata-rata		700000	417500	208750	432250

Table 4.11 *Probabilistic Severity* (lanjutan)

<i>Fatigue</i>	1	700000	350000	170000	0,175631805
	2	500000	350000	100000	
	3	500000	250000	125000	
	4	500000	300000	100000	
	5	500000	350000	170000	
	6	700000	500000	200000	
	7	500000	350000	100000	
	8	500000	250000	125000	
	9	500000	250000	125000	
	10	700000	350000	200000	
	11	500000	400000	300000	
	12	500000	400000	200000	
	13	500000	250000	100000	
	14	650000	500000	350000	
	15	500000	250000	150000	
	16	750000	500000	300000	
	17	500000	300000	100000	
	18	700000	400000	300000	
	19	500000	250000	100000	
	20	400000	300000	200000	
rata-rata		555000	342500	175750	351650

Probabilistic severity menunjukkan seberapa besar dampak dari peluang yang ditimbulkan masing-masing risiko, dilihat dari biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi. *Probabilistic severity* dihitung dengan mempertimbangkan biaya maximum yaitu biaya tertinggi yang dikeluarkan oleh perusahaan pada saat risiko terjadi, biaya modus yaitu biaya yang paling sering dikeluarkan selama risiko tersebut muncul dimana untuk biaya modus dikalikan dengan bobot 3 mengingat biaya modus merupakan biaya yang sering dikeluarkan ketika risiko terjadi daripada biaya maksimum atau minimum. Pembobotan ini merupakan perhitungan subjektif sama seperti yang diberlakukan untuk modus pada *occurrence* dan *detection* yang

mengacu pada *International Smatech FMEA* (1992). Sedangkan biaya minimum adalah biaya terendah yang dikeluarkan saat risiko terjadi.

Pada perhitungan *probabilistic severity* (P(S)) dapat diambil contoh untuk mendapatkan P(S) *general metal loss* yang dilakukan beberapa perhitungan terlebih dahulu. Sebelum menghitung *probabilistic severity* perlu dihitung rata-rata dari ketiga biaya yaitu biaya maximum, modus, dan minimum. Perhitungan rata-rata tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan distribusi *triangular* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (712500 + (450000 \times 3) + 227500) / 5 \\ &= \$458000\end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi maka selanjutnya dihitung peluang dari biaya tersebut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(S) &= \text{Rata-rata/biaya}(\$)\text{ failure mode 1} + \dots + \text{failure mode 5} \\ &= \$458000 / \$2002200 \\ &= 0.2287\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan terhadap *severity* sebagai dampak dari risiko menunjukkan bahwa perusahaan akan mengeluarkan biaya sebesar \$458000 pada saat *general metal loss* terjadi. Dari biaya yang dikeluarkan tersebut maka *probabilistic severity* dari *general metal loss* yaitu 0.2287 dimana peluang tersebut juga menunjukkan proporsi dari keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk risiko yang dianalisis. Biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi bisa dalam bentuk seperti biaya penggantian, perbaikan, maupun biaya untuk yang lainnya. Perhitungan peluang dampak dari aspek biaya tersebut juga berlaku untuk risiko yang lain sehingga semakin besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan maka menunjukkan bahwa dampak dari risiko juga semakin besar terhadap keberlangsungan proses produksi. Berikut adalah perhitungan untuk mode kegagalan lainnya.

a. Perhitungan *probabilistic severity mechanical overstress*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (570000 + (340000 \times 3) + 177500) / 5 \\ &= \$353500\end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi maka selanjutnya dihitung peluang dari biaya tersebut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(S) &= \text{Rata-rata/biaya}(\$)\text{ failure mode 1} + \dots + \text{failure mode 5} \\ &= \$353500 / \$2002200 \\ &= 0.1765\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan terhadap *severity* sebagai dampak dari risiko menunjukkan bahwa perusahaan akan mengeluarkan biaya sebesar \$352500 pada saat *mechanical overstress* terjadi. Dari biaya yang dikeluarkan tersebut maka *probabilistic severity* dari *mechanical overstress* yaitu 0.1765 dimana peluang tersebut juga menunjukkan proporsi dari keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk risiko yang dianalisis. Biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi bisa dalam bentuk seperti biaya penggantian, perbaikan, maupun biaya untuk yang lainnya. Perhitungan peluang dampak dari aspek biaya tersebut juga berlaku untuk risiko yang lain sehingga semakin besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan maka menunjukkan bahwa dampak dari risiko juga semakin besar terhadap keberlangsungan proses produksi.

b. Perhitungan *probabilistic severity impact*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (627500 + (392500 \times 3) + 199000) / 5 \\ &= \$406800\end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi maka selanjutnya dihitung peluang dari biaya tersebut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
P(S) &= \text{Rata-rata/biaya(\$) } failure \text{ mode } 1 + \dots + failure \text{ mode } 5 \\
&= \$406800 / \$2002200 \\
&= 0.2158
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan terhadap *severity* sebagai dampak dari risiko menunjukkan bahwa perusahaan akan mengeluarkan biaya sebesar \$406800 pada saat *impact* terjadi. Dari biaya yang dikeluarkan tersebut maka *probabilistic severity* dari *impact* yaitu 0.2158 dimana peluang tersebut juga menunjukkan proporsi dari keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk risiko yang dianalisis. Biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi bisa dalam bentuk seperti biaya penggantian, perbaikan, maupun biaya untuk yang lainnya. Perhitungan peluang dampak dari aspek biaya tersebut juga berlaku untuk risiko yang lain sehingga semakin besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan maka menunjukkan bahwa dampak dari risiko juga semakin besar terhadap keberlangsungan proses produksi.

c. Perhitungan *probabilistic severity over-pressurisation*

$$\begin{aligned}
\text{Rata-rata} &= (700000 + (417500 \times 3) + 208750) / 5 \\
&= \$432250
\end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi maka selanjutnya dihitung peluang dari biaya tersebut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
P(S) &= \text{Rata-rata/biaya(\$) } failure \text{ mode } 1 + \dots + failure \text{ mode } 5 \\
&= \$432250 / \$2002200 \\
&= 0.2158
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan terhadap *severity* sebagai dampak dari risiko menunjukkan bahwa perusahaan akan mengeluarkan biaya sebesar \$432250 pada saat *over-pressurisation* terjadi. Dari biaya yang dikeluarkan tersebut maka *probabilistic severity* dari *over-pressurisation* yaitu 0.2158 dimana

peluang tersebut juga menunjukkan proporsi dari keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk risiko yang dianalisis. Biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi bisa dalam bentuk seperti biaya penggantian, perbaikan, maupun biaya untuk yang lainnya. Perhitungan peluang dampak dari aspek biaya tersebut juga berlaku untuk risiko yang lain sehingga semakin besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan maka menunjukkan bahwa dampak dari risiko juga semakin besar terhadap keberlangsungan proses produksi

d. Perhitungan *probabilistic severity fatigue*

$$\begin{aligned}\text{Rata-rata} &= (555000 + (342500 \times 3) + 175750) / 5 \\ &= \$351650\end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi maka selanjutnya dihitung peluang dari biaya tersebut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}P(S) &= \text{Rata-rata/biaya}(\$) \text{ failure mode } 1 + \dots + \text{failure mode } 5 \\ &= \$351650 / \$2002200 \\ &= 0.1756\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan terhadap *severity* sebagai dampak dari risiko menunjukkan bahwa perusahaan akan mengeluarkan biaya sebesar \$351650 pada saat *fatigue* terjadi. Dari biaya yang dikeluarkan tersebut maka *probabilistic severity* dari *fatigue* yaitu 0.1756 dimana peluang tersebut juga menunjukkan proporsi dari keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk risiko yang dianalisis. Biaya yang dikeluarkan pada saat risiko terjadi bisa dalam bentuk seperti biaya penggantian, perbaikan, maupun biaya untuk yang lainnya. Perhitungan peluang dampak dari aspek biaya tersebut juga berlaku untuk risiko yang lain sehingga semakin besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan maka menunjukkan bahwa dampak dari risiko juga semakin besar terhadap keberlangsungan proses produksi

4.3.1.5 Probabilistic Risk priority number (RPN)

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *Risk priority number* (RPN) dari masing-masing risiko yang dianalisis. Besar atau kecil risiko dan dilihat dari RPN yang ditunjukkan dalam bentuk peluang. RPN sendiri terdiri dari *probabilistic occurrence* (P(O)), *probabilistic detection* (P(D)), dan *probabilistic severity* P(S). adapun untuk perhitungan RPN ditunjukkan melalui persamaan berikut.

$$\text{RPN} = \text{P(O)} \times \text{P(D)} \times \text{P(S)} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dengan :

RPN = *Risk priority number*

P(O) = Peluang kejadian

P(D) = Peluang deteksi

P(S) = Peluang *severity*

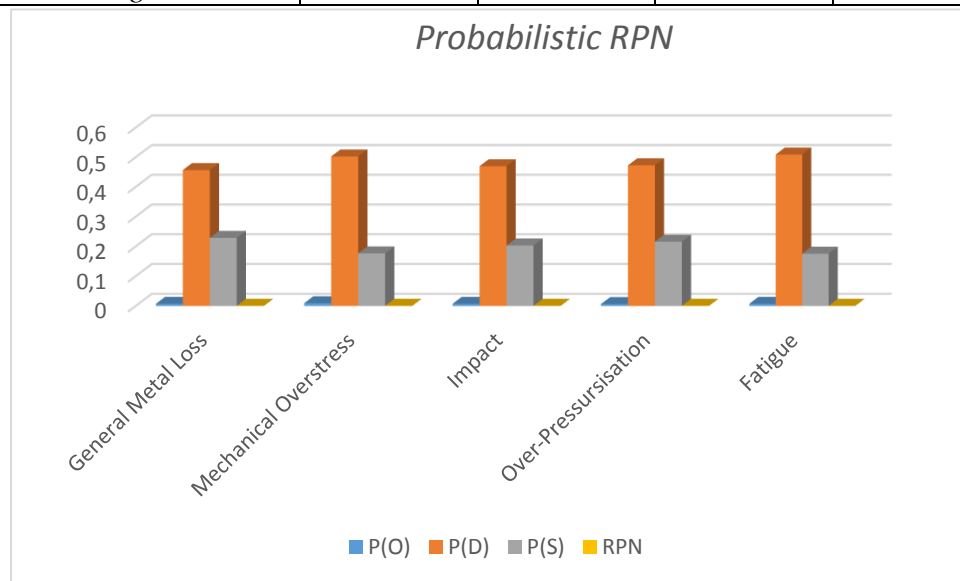
Sebagai contoh untuk menentukan *Risk priority number* dari *general metal loss* dilakukan dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{RPN} &= 0.0072 \times 0.4569 \times 0.2287 \\ &= 0.00076 \end{aligned}$$

Dari perkalian antara P(O), P(D), dan P(S) maka nomor 1 memiliki RPN yaitu 0.00076. berikut ini adalah *Risk priority number* (RPN) dari masing-masing risiko yang dianalisis.

Table 4.12 *Probabilistic Risk priority number (RPN)*

<i>Failure mode</i>	P(O)	P(D)	P(S)	P(RPN)
<i>General metal loss</i>	0,0072	0,4569	0,2287	0,00076
<i>Mechanical overstress</i>	0,0094	0,5028	0,1765	0,00083
<i>Impact</i>	0,0074	0,4699	0,2031	0,00070
<i>Over-pressurisation</i>	0,0064	0,4729	0,2158	0,00066
<i>Fatigue</i>	0,0071	0,5092	0,1756	0,00063



Gambar 4.8 Diagram peringkat RPN (*Risk priority number*)

BARANG (ITEM)	IDENT. No.	MODE KEGAGALAN (FAILURE MODE)	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	EFEK KEGAGALAN (FAILURE EFFECT)	PENILAIAN RISIKO			PROBABILISTIC RPN
					P(OCC)	P(DECT)	P(SEV)	
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	General Metal Loss	* Reaksi Elektrokimia * Kandungan CO2 dan H2S * Efek mekanis	* Kebocoron pipa	0.0072	0.4569	0.2287	0.00076
	2	Mechanical Overstress	* Kontak antara pipeline dengan seabed hilang * Overtemperature * Imperfection tanah	* pipa mengalami stress * pipa mengalami bending	0.0094	0.5028	0.1765	0.00083
	3	Impact	* Kejatuhan Jangkar Kapal * Terseret Jangkar Kapal	* deformasi pipa * pipa mengalami kebocoran (robek)	0.0074	0.4699	0.2031	0.00070
	4	Over-Pressurisation	* Pembentukan hidrat * Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan	* blockage (penyumbatan) pada pipa * Ledakan pipa * Pencemaran lingkungan * Masyarakat sekitar	0.0064	0.4729	0.2158	0.00066
	5	Fatigue	* load cycle	* Crack * Memperpendek umur pipa	0.0071	0.5092	0.1756	0.00063

Table 4.13 Hasil Akhir *Probabilistic Risk priority number* (RPN)

Dari hasil *Risk priority number* masing-masing risiko yang dianalisis maka dapat dilihat peringkat masing-masing risiko yang ditunjukkan dalam bentuk peluang mulai dari yang tertinggi hingga terendah.

4.4 Program Perbaikan Pada Risiko Kritis

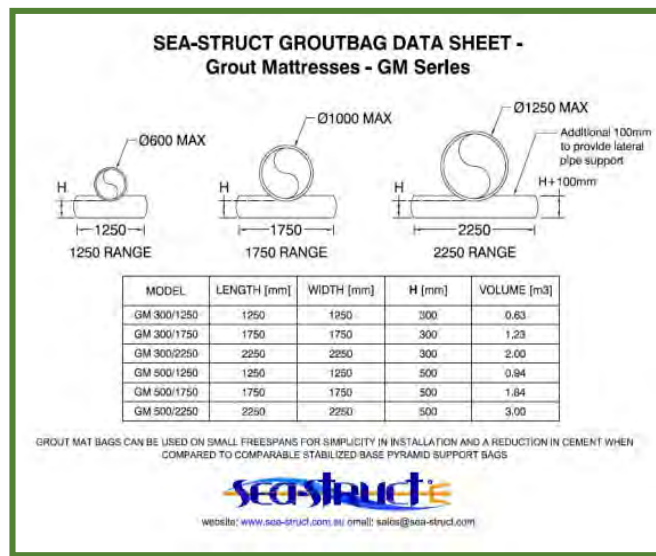
Dari hasil perhitungan tabel 4.13 disimpulkan *Risk priority number* (RPN) tertinggi dimiliki oleh *mechanical overstress* dengan RPN 0.00083 yang menunjukkan bahwa *mechanical overstress* merupakan risiko kritis yang ada pada proses transmisi gas di *offshore pipeline* transmisi sumatera jawa. Dimana risiko tersebut berhubungan dengan *spanning* dan *local buckling*. Sehingga pihak perusahaan harus lebih memperhatikan hal ini agar risiko proses transmisi gas dapat diminimalisir.

Table 4.14 Peringkat *Risk priority number* (RPN)

<i>Failure mode</i>	RPN	Rank
<i>Mechanical overstress</i>	0.00083	1
<i>General metal loss</i>	0.00076	2
<i>Impact</i>	0.00070	3
<i>Over-pressurisation</i>	0.00066	4
<i>Fatigue</i>	0.00063	5

Berdasarkan ranking risiko yang dianalisis maka yang menjadi risiko kritis adalah *mechanical overstress* dan *general metal loss* yang menempati ranking 1 dan 2. Dengan RPN masing-masing 0.00083 dan 0.00076. Program perbaikan yang harus dilakukan perusahaan terhadap *mechanical overstress* adalah dengan cara memberi grout bag.

Grout bag adalah suatu material struktur penopang pipa yang berisi semen di dalam suatu bekisting. Grout bag ini digunakan untuk penopang pipa yang memiliki gap dibawah 3 m. dari ketinggian *spanning* dan diameter pipa, maka ditentukan model grout bag yang digunakan. dipasang pada titik tengah bentang *spanning*. model grout bag yang biasa digunakan.



Gambar 4.9 Ukuran *Grout Bag*

(Sumber: LPR-70-L-CA-A4-1, PGN, 2012)

Impact yang menempati ranking risiko ketiga adalah salah satu risiko kritis pada *offshore pipeline* transmisi Sumatera Jawa. Kondisi gelaran pipa yang melewati salah satu selat terpadat di Indonesia mengakibatkan banyaknya kapal yang melewati pipa. Jangkar adalah salah satu permasalahan pelik yang dialami oleh perusahaan, sudah berkali-kali pipa mengalami deformasi dan rusak akibat *impact* yang diakibatkan oleh jangkar. Langkah untuk mengantisipasinya adalah dengan menambah kedalaman pipa yang ditanam pada sekitar area yang kemungkinan kapal bersandar dan menaruh jangkarnya. Selain itu, dibutuhkan juga *anchor buoy* disekitar jalur pipa yang padat pelayaran untuk menghindari kapal membuang jangkar di sembarang titik.

Risiko kritis pada *fatigue* menjadi salah satu program perbaikan yang diperlukan. Perlunya perhitungan ulang tiap *maintenance* dilapangan untuk mendapatkan data akurat mengenai hal ini. Analisa *fatigue* sendiri harus dilakukan secara periodik dimana kegagalan mungkin dapat terjadi. Ada baiknya *corrective maintenance* yang selama ini dipakai oleh perusahaan diganti dengan *predictive maintenance* agar ketika terjadi kegagalan dapat diantisipasi lebih baik lagi.

General metal loss dan *over-pressurisation* yang termasuk dalam risiko kritis diperlukan tindakan *maintenance* yang baik untuk menanggulangi masalah tersebut. RCM (*Reliability Centered Maintenance*) adalah hal yang tepat untuk mengantisipasi ketika

terjadi kegagalan. Karena kerusakan ini bersifat dapat terjadi sewaktu-waktu maka diperlukan sistem *maintenance* yang baik. RCM dapat membantu untuk mengetahui indikasi awal ketika terjadi kegagalan, dengan demikian perusahaan memiliki waktu perencanaan dan tindakan perbaikan sebelum terjadinya kegagalan pada *offshore pipeline*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa beberapa perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai analisa risiko kerusakan *offshore pipeline* transmisi Sumatera Jawa pada jalur Labuhan Maringgai – Muara bekasi. Kesimpulan tersebut diantaranya:

1. *Probabilistic occurrence, detection* dan *severity* yang diterima pada *offshore pipeline* transmisi Sumatera Jawa:

- a. *General metal loss*

Hasil dari perhitungan untuk *general metal loss* menghasilkan *probabilistic occurrence* sebesar 0,0072, pada *probabilistic detection* sebesar 0,4569. Sedangkan untuk *probabilistic severity* sebesar 0,2287

- b. *Mechanical overstress*

Hasil dari perhitungan untuk *mechanical overstress* menghasilkan *probabilistic occurrence* sebesar 0,0094, pada *probabilistic detection* sebesar 0.5708. Sedangkan untuk *probabilistic severity* sebesar 0,1765

- c. *Impact*

Hasil dari perhitungan untuk *impact* menghasilkan *probabilistic occurrence* sebesar 0,0074, pada *probabilistic detection* sebesar 0,4699. Sedangkan untuk *probabilistic severity* sebesar 0,2031

- d. *Over-pressurisation*

Hasil dari perhitungan untuk *over-pressurisation* menghasilkan *probabilistic occurrence* sebesar 0,0064, pada *probabilistic detection* sebesar 0,4729. Sedangkan untuk *probabilistic severity* sebesar 0,2158.

- e. *Fatigue*

Hasil dari perhitungan untuk *fatigue* menghasilkan *probabilistic occurrence* sebesar 0,0071, pada *probabilistic detection* sebesar 0,5092. Sedangkan untuk *probabilistic severity* sebesar 0,1756

2. Hasil perhitungan *probabilistic* RPN pada *general metal loss* adalah sebesar 0,00076, *mechanical overstress* mendapatkan *probabilistic* RPN sebesar 0,00083, pada *impact* memiliki *probabilistic* RPN sebesar 0,00070, perhitungan *over-pressurisation* terhadap *probabilistic* RPN sebesar 0,00066, dan hasil dari *fatigue* untuk *probabilistic* RPN sebesar 0,00063

5.2 Saran

1. Perlu adanya perhitungan lebih lanjut untuk dapat mereduksi kegagalan pada *failure mode*
2. Perlu dilakukan analisis untuk akar permasalahan dari *failure mode* sehingga pembahasan dapat lebih kompleks dan mengetahui asal usul dari permasalahan tersebut
3. Perlu dilakukan analisa berikutnya antara lain yaitu mempertimbangkan *delay* pada proses produksi, mempertimbangkan atau memasukkan risiko untuk proses distribusi, dan opportunity loss dapat diperhitungkan lebih lanjut

DAFTAR PUSTAKA

- AS/NZS 4360:2004. 2005. "Risk management guidelines companion to AS/NZS 4360:2004. Wellington: *Standard Australia International and Standard New Zealand*.
- Barends, D.M., Oldenhof, M.T., Vredenburg, M.J., Nauta, M.J. 2012. "Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA". *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 64, hal. 82-86.
- Chapman, C. B. 1997. "Project Risk Analysis and Management – PRAM the Generic Process". *International Journal of Project Management*. Vol 15.No 5, pp 273-81.
- Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. 2005. "Project Risk Management Guidelines". West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Dailey, K.W. 2004. "The FMEA Pocket Handbook. USA: DW Publishing Co.
- Dorofee, A. J., Walker, J. A., Albert, C. J., Higuera, R. P., Murphy, L. R., & Williams, C. R. 1996. "Continuous Risk Management Guidebook". Carnegie Mellon University.
- esdm.go.id. 2010. "Rencana Strategis Kementrian ESDM 2010-2014
- Febrian, D. 2013. "Perbandingan Analisis Free Span Menggunakan DNV RP F-105 Freespanning Pipeline dengan DNV 1981 Rule for Submarine Pipelines System". Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS
- Hoseynabadi, A., Oraee, Tavner. 2010. "Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for Wind Turbines", *Electrical Power and Energy System*, Vol 32, hal. 817-824
- International SEMATECH. 1992. "Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) : A Guide for continuous improvement for the semiconductor equipment industry
- Jun, L., Huibin, X. 2012. "Reliability Analysis of Aircraft Equipment Based on FMECA". *Physics Procedia* Vol. 25, Hal. 1816-1822.
- Khanifudin, I. 2014. "Analisis Ultimate Limit State (ULS) pada Free Span (Studi Kasus South Sumatera – West Java Gas Pipeline Project Phase II Labuhan Maringgai – Muara Bekasi Offshore Pipeline)". Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS
- Kerzner, H. 2009. "Project Management = A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling". Canada: John Wiley & Sons, Inc.


- Kurniawan, I. 2013. “Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Metode Probabilistik FMEA Pada Industri Minyak dan Gas”. Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri ITS.
- Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D., Gemini, V. 2011. “Risk Analysis and Assessment Methodologies in the Work Site: On a Review, Classification and Comparative Study of the Scientific Literature of the Period 2000-2009”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 24, hal. 477-523.
- Mckim, R. A. 1992. “Risk Management-back to basics”. *Cost Engineering*. Vol 34, no 12, pp 7-12
- Oldenhof, M.T., et al. (2011). “Consistency of FMEA Used in the Validation of Analytical Procedures”. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 54, hal. 592-595.
- Price, C.J., Taylor, N.S. 2002. “Automated Multiple Failure FMEA”. *Reliability Engineering and Sytem Safety*, Vol. 76, hal. 1-10.
- Rosqvist, T., et al. 2013. “Event Tree Analysis for Flood Protection-An Exploratory Study in Finland”. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 112, hal. 1-7
- Shahriar, A., et al. 2012. “Risk Analysis for Oil & Gas Pipelines: A Sustainability Assessment Approach Using Fuzzy Based Bow-Tie Analysis”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 25, hal. 505-523.
- Stein, W.E., Kebliis, M.F. 2009. “A New Method To Simulate The Triangular Distribution”, *Mathematical and Computer Modelling*.
- Wahyu, A. 2012. “Analisa Risiko dan Langkah Mitigasi pada Offshore Pipeline dengan Metode RBI”. Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS

LAMPIRAN A Responden Traditional FMEA

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

TANGGAL _____
 LEMBAR _____ DARI _____
 DISUSUN OLEH _____
 DISETUJUI OLEH _____


BARANG (ITEM)	IDENT. No.	MODE KEGAGALAN (FAILURE MODE)	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	EFEK KEGAGALAN (FAILURE EFFECT)	PENILAIAN RISIKO			TINDAKAN YANG DIBUTUHKAN
					OCC	DECT	SEV	
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	General Metal Loss	<ul style="list-style-type: none"> * Reaksi Elektrokimia * Kandungan CO2 dan H2S * Efek mekanis 	* Kebocoran pipa	2	6	6	
	2	Mechanical Overstress	<ul style="list-style-type: none"> * Kontak antara pipeline dengan seabed hilang * Overtemperature * Imperfection tanah 	<ul style="list-style-type: none"> * pipa mengalami stress * pipa mengalami bending 	2	6	6	
	3	Impact	<ul style="list-style-type: none"> * Kejatuhan Jangkar Kapal * Terseret Jangkar Kapal 	<ul style="list-style-type: none"> * deformasi pipa * pipa mengalami kebocoran (robek) 	2	7	7	
	4	Over-Pressurisation	<ul style="list-style-type: none"> * Pembentukan hidrat * Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan 	<ul style="list-style-type: none"> * blockage (penyumbatan) pada pipa * Ledakan pipa * Pencemaran lingkungan * Masyarakat sekitar 	2	7	6	
	5	Fatigue	<ul style="list-style-type: none"> * load cycle 	<ul style="list-style-type: none"> * Crack * Memperpendek umur pipa 	2	6	6	

Nama = *Rangga felani*
 Posisi/jabatan = *Operator Jangkar M&B*
 Ttd = 

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

TANGGAL _____
 LEMBAR _____ DARI _____
 DISUSUN OLEH _____
 DISETUJUI OLEH _____

BARANG (ITEM)	IDENT. No.	MODE KEGAGALAN (FAILURE MODE)	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	EFEK KEGAGALAN (FAILURE EFFECT)	PENILAIAN RISIKO			TINDAKAN YANG DIBUTUHKAN
					OCC	DECT	SEV	
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	General Metal Loss	* Reaksi Elektrokimia * Kandungan CO2 dan H2S * Efek mekanis	* Kebocoran pipa	2	6	6	
	2	Mechanical Overstress	* Kontak antara pipeline dengan seabed hilang * Overtemperature * Imperfection tanah	* pipa mengalami stress * pipa mengalami bending	4	5	6	
	3	Impact	* Kejatuhan Jangkar Kapal * Terseret Jangkar Kapal	* deformasi pipa * pipa mengalami kebocoran (robek)	4	5	6	
	4	Over-Pressurisation	* Pembentukan hidrat * Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan	* blockage (penyumbatan) pada pipa * Ledakan pipa * Pencemaran lingkungan * Masyarakat sekitar	2	7	6	
	5	Fatigue	* load cycle	* Crack * Memperpendek umur pipa	4	5	6	

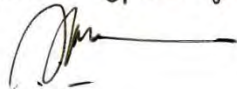
Nama = Bambang Ekalaga Nadyi
 Posisi/jabatan = Operator Jangkar
 Ttd = 

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

TANGGAL _____
 LEMBAR _____ DARI _____
 DISUSUN OLEH _____
 DISETUJUI OLEH _____

BARANG (ITEM)	IDENT. No.	MODE KEGAGALAN (FAILURE MODE)	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	EFEK KEGAGALAN (FAILURE EFFECT)	PENILAIAN RISIKO			TINDAKAN YANG DIBUTUHKAN
					OCC	DECT	SEV	
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	General Metal Loss	* Reaksi Elektrokimia * Kandungan CO2 dan H2S * Efek mekanis	* Kebocoran pipa	3	6	6	
	2	Mechanical Overstress	* Kontak antara pipeline dengan seabed hilang * Overtemperature * Imperfection tanah	* pipa mengalami stress * pipa mengalami bending	6	5	6	
	3	Impact	* Kejatuhan Jangkar Kapal * Terseret Jangkar Kapal	* deformasi pipa * pipa mengalami kebocoran (robek)	2	9	7	
	4	Over-Pressurisation	* Pembentukan hidrat * Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan	* blockage (penyumbatan) pada pipa * Ledakan pipa * Pencemaran lingkungan * Masyarakat sekitar	1	9	9	
	5	Fatigue	* load cycle	* Crack * Memperpendek umur pipa	2	5	8	

Nama = Edwin Alfuni S
 Posisi/jabatan = Operator Jangkar MVBK
 Ttd =



FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

TANGGAL _____
LEMBAR _____ DARI _____
DISUSUN OLEH _____
DISETUJUI OLEH _____

BARANG (ITEM)	IDENT. No.	MODE KEGAGALAN (FAILURE MODE)	PENYEBAB KEGAGALAN (FAILURE CAUSE)	EFEK KEGAGALAN (FAILURE EFFECT)	PENILAIAN RISIKO			TINDAKAN YANG DIBUTUHKAN
					OCC	DECT	SEV	
OFFSHORE PIPELINE TRANSMISI SUMATERA JAWA	1	General Metal Loss	<ul style="list-style-type: none"> * Reaksi Elektrokimia * Kandungan CO2 dan H2S * Efek mekanis 	* Kebocoran pipa	2	7	7	
	2	Mechanical Overstress	<ul style="list-style-type: none"> * Kontak antara pipeline dengan seabed hilang * Overtemperature * Imperfection tanah 	<ul style="list-style-type: none"> * pipa mengalami stress * pipa mengalami bending 	2	7	7	
	3	Impact	<ul style="list-style-type: none"> * Kejatuhan Jangkar Kapal * Terseret Jangkar Kapal 	<ul style="list-style-type: none"> * deformasi pipa * pipa mengalami kebocoran (robek) 	2	7	7	
	4	Over-Pressurisation	<ul style="list-style-type: none"> * Pembentukan hidrat * Tekanan operasional Melebihi tekanan ledakan 	<ul style="list-style-type: none"> * blockage (penyumbatan) pada pipa * Ledakan pipa * Pencemaran lingkungan * Masyarakat sekitar 	2	7	8	
	5	Fatigue	* load cycle	<ul style="list-style-type: none"> * Crack * Memperpendek umur pipa 	2	7	7	

Nama = Akrom Akhmad W
Posisi/jabatan = koordinator OP Jaringannya MPK.
Ttd =



LAMPIRAN B Responden Probabilistic FMEA

FREKUENSI (OCC)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	5	3	1
2	6	3	1
3	6	4	2
4	4	3	1
5	4	3	1

Waktu (DECT)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	360	140	42
2	360	150	46
3	360	150	45
4	360	180	57
5	360	170	77

Biaya (SEV)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	1000000	500000	400000
2	700000	350000	150000
3	600000	500000	240000
4	1300000	650000	300000
5	700000	350000	170000

Nama = Rangga felani

Posisi/jabatan = Operator jamyan MBK


Ttd =



FREKUENSI (OCC)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	5	3	1
2	6	3	1
3	5	3	1
4	3	2	1
5	5	3	1

Waktu (DECT)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	360	170	47
2	360	180	48
3	360	180	49
4	360	172	57
5	360	171	77

Biaya (SEV)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	800000	50000	100000
2	500000	250000	100000
3	500000	450000	250000
4	1000000	500000	225000
5	500000	350000	100000

Nama = Bambang Elakay Nardj
 Posisi/jabatan = Operator Juringan
 Ttd = 

FREKUENSI (OCC)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	5	2	1
2	7	4	1
3	5	3	1
4	5	3	1
5	5	4	1

Waktu (DECT)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	360	170	47
2	360	180	48
3	360	180	49
4	360	175	57
5	360	171	77

Biaya (SEV)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	900.000	450.000	300.000
2	500.000	250.000	125.000
3	900.000	450.000	225.000
4	1.000.000	500.000	250.000
5	500.000	250.000	150.000

Nama = Edwin Alfani S

Posisi/jabatan = Operator Jaringan MIB K

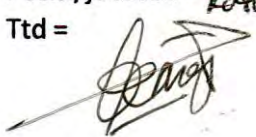
Ttd =



FREKUENSI (OCC)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	5	3	2
2	8	6	3
3	3	2	1
4	4	2	1
5	3	2	1

Waktu (DECT)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	1	1	1
2	360	360	1
3	360	30	14
4	1	1	1
5	360	360	180

Biaya (SEV)			
No	Maximum	Modus	Minimum
1	500000	300000	100000
2	500000	300000	100000
3	500000	300000	100000
4	500000	300000	100000
5	500000	300000	100000

Nama = Akrom Akhanadi W
 Posisi/jabatan = Kasubie OP Jangsan RBK.
 Ttd = 

BIODATA PENULIS



Jalisman Filihan dilahirkan di Bekasi pada tanggal 15 Juli 1990. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menghabiskan masa kecil dan menyelesaikan masa sekolahnya di kota kelahirannya, Bekasi. Ia menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Aren Jaya 2, melanjutkan ke SMP Negeri 11 Bekasi, dan SMA Negeri 1 Bekasi. Setelah mengenyam pendidikan dari bangku sekolah, penulis melanjutkan studi S1 di jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Selain berkuliah, penulis juga aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan seperti HIMATEKLA (Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan), DPM (Dewan Perwakilan Mahasiswa) ITS, dan BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa) ITS. Selain itu penulis juga aktif sebagai asisten Laboratorium Operasional dan Riset FTK-ITS dan di HMI (Himpunan Mahasiswa Islam). Berbagai seminar dan pelatihan pernah diikuti dalam rangka pengembangan diri. Pada masa kuliahnya, penulis mengambil bidang *risk assessment* pipa bawah laut sebagai tugas akhirnya.